



①⑨ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

⑫ **Patentschrift**  
⑩ **DE 39 43 805 C 2**

⑤① Int. Cl. 7:  
**G 01 C 19/56**  
G 01 P 9/04  
H 02 N 2/10

②① Aktenzeichen: P 39 43 805.8-52  
②② Anmeldetag: 10. 8. 1989  
④③ Offenlegungstag: 15. 2. 1990  
④⑤ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 5. 1. 2000

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

③① Unionspriorität:

202385/88	12. 08. 1988	JP
44806/89	25. 02. 1989	JP
44807/89	25. 02. 1989	JP
89396/89	06. 04. 1989	JP
89397/89	06. 04. 1989	JP
89398/89	06. 04. 1989	JP
115436/89	08. 05. 1989	JP
115437/89	08. 05. 1989	JP
147779/89	09. 06. 1989	JP
147782/89	09. 06. 1989	JP

⑦③ Patentinhaber:

Murata Mfg. Co., Ltd., Nagaokakyo, Kyoto, JP

⑦④ Vertreter:

Herrmann-Trentepohl und Kollegen, 81476  
München

⑥② Teil aus: P 39 26 504.8

⑦⑤ Erfinder:

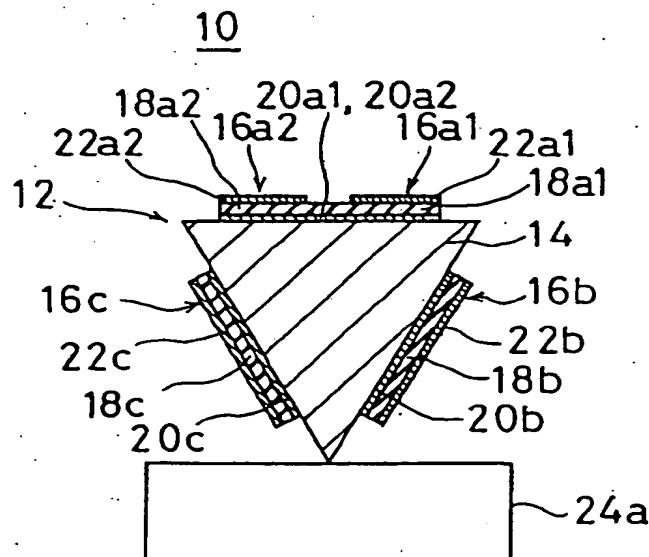
Nakamura, Takeshi, Nagaokakyo, JP; Okano,  
Keiichi, Nagaokakyo, JP; Morishita, Yoshiko,  
Nagaokakyo, JP

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

US	46 89 992
US	35 20 195
US	24 39 499

⑤④ Schwingkreisel

⑤⑦ Ein Schwingungserreger (10), der einen starrförmigen schwingungsfähigen Körper (14), eine Treibereinrichtung zum Schwingen des schwingfähigen Körpers (14) im Biegemodus und zwei Elektroden (20a1, 20a2, 22a1, 22a2), welche mit dem schwingfähigen Körper verbunden sind, umfaßt, so daß die zwei Elektroden auf beiden Seiten einer Ebene angeordnet sind, die eine Achse des schwingfähigen Körpers und eine Schwingungsrichtung des schwingfähigen Körpers beinhaltet, wenn eine Drehwinkelgeschwindigkeit nicht auf dem schwingfähigen Körper angeordnet ist, und die Flächen der zwei Elektroden weder parallel noch senkrecht zu einer Richtung zu einer Korioliskraft sind, welche auftritt, wenn eine Drehwinkelgeschwindigkeit auf den schwingfähigen Körper angewendet wird, worin die zwei Elektroden elektrische Signale ausgeben, die verschiedene Niveaus haben und in Phase miteinander durch piezoelektrischen Effekt zum Detektieren der Richtung der Schwingung des schwingfähigen Körpers (14) sind.



DE 39 43 805 C 2

DE 39 43 805 C 2

## Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft einen Schwingkreis, der beispielsweise in einem Navigationssystem eines Kraftfahrzeuges installiert ist.

Fig. 50 ist eine Darstellung eines Beispiels für einen herkömmlichen Schwingkreis, wie er beispielsweise aus US 3 520 195 bekannt ist. Fig. 51 eine perspektivische Darstellung eines Schwingungserregers des Schwingkreises und Fig. 52 eine Schnittdarstellung entlang der Linie LII-LII, gemäß Fig. 51. Der Schwingungserreger 2 des Schwingkreises 1 umfaßt einen vierseitigen prismaförmigen Schwingkörper 3 aus einem Metall konstanter Elastizität oder dergleichen.

Auf einem Paar gegenüberliegender Seitenflächen des Schwingkörpers 3 sind piezoelektrische Detektorelemente 4,4 gebildet. Wie in Fig. 52 zu sehen, weist das piezoelektrische Detektorelement 4 Elektroden 4b auf, welcher an beiden Oberflächen eines piezoelektrischen keramischen Elementes 4a gebildet sind.

Entsprechend sind auf einem Paar von Seitenflächen des Schwingkörpers 3, auf welchem kein piezoelektrisches Detektorelement gebildet ist, piezoelektrische Treiberelemente 5,5 gebildet. Die piezoelektrischen Treiberelemente 5 umfassen ebenfalls wie die piezoelektrischen Detektorelemente 4 auf beiden Oberflächen eines piezoelektrischen keramischen Elementes 5a Elektroden 5b. Der Schwingkreis 1 ist mittels Lagerelementen 6,6, die sich durch Knotenpunkte des Schwingkörpers 3 erstrecken, gelagert.

Ein Differentialverstärker 7 ist mit den piezoelektrischen Detektorelementen 4 des Schwingungserregers 2 verbunden, und ein Oszillator 8 ist mit den piezoelektrischen Treiberelementen 5 verbunden. Somit führt der Schwingkörper 3, wenn ein Treibersignal an die piezoelektrischen Treiberelemente 5 angelegt wird, diese Schwingungen in der Richtung senkrecht zu den Hauptoberflächen der piezoelektrischen Treiberelemente 5 durch, wie übertrieben in Fig. 52 gezeigt.

In diesem Stadium wird, wenn der Schwingkreis 1 beispielsweise um seine Achse rotiert wird, eine senkrecht zur Schwingungsrichtung liegende Korioliskraft ausgeübt. Damit wird die Schwingungsrichtung des Schwingkörpers 3, wie übertrieben in Fig. 54 gezeigt, durch die Korioliskraft geändert, und in den piezoelektrischen Detektorelementen 4 eine Ausgangsspannung erzeugt. Da diese Ausgangsspannung proportional zu einer Schwingungsquantität in senkrecht zu der Hauptoberfläche des piezoelektrischen Detektorelements 4 liegender Richtung ist, kann durch Messen dieser Ausgangsspannung die Drehwinkelgeschwindigkeit des Schwingkreises 1 ermittelt werden. Genauso verhält es sich auch, wenn der Schwingkreis um jede beliebige Achse entlang seiner Achse rotiert wird.

Wird ein derartiger herkömmlicher Schwingkreis rotiert, weicht die Biegerichtung des Schwingkörpers beziehungsweise des piezoelektrischen Detektorelementes in dieser Richtung von der senkrecht zur Hauptoberfläche liegenden Richtung ab (eine Richtung eines resultierenden Vektors aus einem Vektor, der Biegeschwungsrichtung ohne Rotation und einem durch die Korioliskraft erzeugten Abweichungsvektor), so daß die in dem piezoelektrischen Detektorelement 4 erzeugte Ausgangsspannung klein ist. Es ist deshalb schwer, die auf den Schwingkreis angelegte Drehwinkelgeschwindigkeit aus der Ausgangsspannung zu messen. Entsprechend ist es schwer, die Ausgangsspannung zu Null zu regeln, obwohl dies erforderlich ist, um das S/N-Verhältnis zu erhalten.

Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen Schwingkreis, in welchem die Ausgangsspannung bei Ro-

tation erhöht werden kann, wobei die Ausgangsspannung bei Nichtrotation nicht notwendigerweise Null sein muß, bereitzustellen.

Die Aufgabe wird gemäß den Merkmalen des Patentanspruches 1 gelöst.

Der erfindungsgemäße Schwingkreis umfaßt einen Schwingkörper mit einem vieleckigen Bereich und piezoelektrische Elemente, die mindestens an zwei Seitenflächen des Schwingkörpers gebildet sind. Der erfindungsgemäße Schwingkreis verwendet den oben beschriebenen Schwingungserreger.

Wenn ein Treibersignal an das piezoelektrische Element angelegt wird, führt der Schwingkörper Biegeschwingungen in Richtung senkrecht zu der Hauptoberfläche des piezoelektrischen Elementes durch.

Wenn der Schwingkreis um seine Achse rotiert wird, wird die Schwingrichtung durch eine Korioliskraft geändert, und es gibt Seitenflächen des Schwingkörpers, deren Hauptoberflächen in im wesentlichen senkrecht zur Schwingrichtung liegender Richtung liegen. Somit kann, wenn das piezoelektrische Element auf diesen Oberflächen zur Erkennung verwendet wird, eine große Ausgangsspannung in diesem erzeugt werden.

Weiterhin sind die in den piezoelektrischen Detektorelementen erzeugten Ausgangsspannungen im Vergleich mit den Schwingkreisen des Standes der Technik größer, da die Biegerichtung des Schwingkörpers und die Hauptoberflächen der piezoelektrischen Detektorelemente im wesentlichen im rechten Winkel relativ zueinander bei Rotation des Schwingkreises liegen. Somit ist es bei diesem Schwingkreis einfach, die Drehwinkelgeschwindigkeit zu erfassen. Damit ist ein besonderes Verfahren zum Erhalt des S/N-Verhältnisses nicht notwendig.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden anhand der beiliegenden Zeichnungen beschrieben. Dabei zeigen:

Fig. 1 eine perspektivische Ansicht eines Ausführungsbeispiels der Erfindung,

Fig. 2 eine Schnittansicht entlang der Linie II/II gemäß Fig. 1,

Fig. 3 ein Blockdiagramm für eine Schaltung zur Verwendung des in Fig. 1 und 2 gezeigten Schwingkreises,

Fig. 4 eine Darstellung der Schwingungen, wobei der in Fig. 1 und 2 gezeigte Schwingkreis nicht rotiert,

Fig. 5 eine Darstellung der Schwingungen, wenn der in Fig. 1 und 2 gezeigte Schwingkreis rotiert,

Fig. 6 eine perspektivische Darstellung einer Modifikation des in Fig. 1 und 2 gezeigten Ausführungsbeispiels,

Fig. 7 eine perspektivische Darstellung einer weiteren Modifikation des in Fig. 1 und 2 gezeigten Ausführungsbeispiels,

Fig. 8 einen Schaltkreis eines Differentialverstärkers, der in einem erfindungsgemäßen Schwingkreis verwendet wird,

Fig. 9 einen Schaltkreis eines Beispiels, in welchem die Gainkontrolle in dem in Fig. 8 gezeigten Differentialverstärker möglich ist,

Fig. 10 einen Schaltkreis einer Modifikation des in Fig. 9 gezeigten Differentialverstärkers,

Fig. 11 eine perspektivische Ansicht eines weiteren Ausführungsbeispiels der vorliegenden Erfindung,

Fig. 12 eine Schnittansicht entlang der Linie XXII/XXII gemäß Fig. 11,

Fig. 13 einen Schaltkreis für ein Beispiel einer Kreiselanlage, die dem in den Fig. 11 und 12 gezeigten Schwingkreis verwendet,

Fig. 14 grafische Darstellungen der Ausgänge des in Fig. 13 gezeigten Schaltkreises bei Nichtrotation des Schwingkreises.

Fig. 15 grafische Darstellungen der Ausgänge des in Fig. 13 gezeigten Schaltkreises bei Rotation des Schwingkreises,

Fig. 16 eine grafische Darstellung der Beziehung zwischen der Drehwinkelgeschwindigkeit des Schwingkreises und der Ausgangsspannung eines Differenzialverstärkers in einem Schaltkreis gemäß Fig. 13,

Fig. 17 eine Schnittansicht einer Modifikation des in Fig. 11 und 12 gezeigten Ausführungsbeispiels,

Fig. 18 eine perspektivische Ansicht eines Beispiels für eine Lagerstruktur eines Schwingungserregers,

Fig. 19 eine Frontansicht des in Fig. 18 gezeigten Ausführungsbeispiels,

Fig. 20 eine perspektivische Ansicht einer Modifikation des in Fig. 18 und 19 gezeigten Ausführungsbeispiels,

Fig. 21 eine Frontansicht des in Fig. 20 gezeigten Ausführungsbeispiels,

Fig. 22 eine perspektivische Ansicht einer weiteren Modifikation des in Fig. 18 und 19 gezeigten Ausführungsbeispiels,

Fig. 23 eine Frontansicht des in Fig. 22 gezeigten Ausführungsbeispiels,

Fig. 24 eine perspektivische Ansicht einer weiteren Lagerstruktur eines Schwingungserregers,

Fig. 25 eine Frontansicht des in Fig. 24 gezeigten Ausführungsbeispiels,

Fig. 26 eine Seitenansicht einer Modifikation des in Fig. 24 und 25 gezeigten Ausführungsbeispiels,

Fig. 27 eine Frontansicht gemäß Fig. 26,

Fig. 28 eine perspektivische Ansicht eines weiteren Ausführungsbeispiels der vorliegenden Erfindung,

Fig. 29 eine Schnittansicht entlang der Linie XXIX/XXIX gemäß Fig. 28,

Fig. 30 ein Blockdiagramm eines Beispiels für eine Schwingkreisvorrichtung, die den in Fig. 28 und 29 gezeigten Schwingkreis verwendet,

Fig. 31 eine Darstellung bei Nichtrotation des in Fig. 28 und 29 gezeigten Ausführungsbeispiels,

Fig. 32 eine Darstellung bei Rotation des in Fig. 28 und 29 gezeigten Ausführungsbeispiels,

Fig. 33 eine grafische Darstellung der Frequenzcharakteristika, bevor die Resonanzfrequenz der Treiberseite mit der der Detektorseite in dem in Fig. 28 und 29 gezeigten Schwingkreis zusammenfällt,

Fig. 34 eine grafische Darstellung der Frequenzcharakteristika, wenn die Resonanzfrequenz der Treiberseite mit der der Detektorseite in dem in Fig. 28 und 29 gezeigten Schwingkreis zusammenfällt,

Fig. 35 eine grafische Darstellung der Ausgangsspannungscharakteristika, die die Beziehung zwischen der Drehwinkelgeschwindigkeit und der Ausgangsspannung zeigt, wenn ein Schwingkreis in der in Fig. 30 gezeigten Schwingkreisvorrichtung erregt wird,

Fig. 36 eine grafische Darstellung der Ausgangsspannungscharakteristika, die die Beziehung zwischen dem Kippwinkel des Schwingkreises und der Ausgangsspannung der Schwingkreisvorrichtung gemäß Fig. 30 zeigt,

Fig. 37 eine grafische Darstellung der Frequenz-/Temperaturcharakteristika, wenn ein aus einem ausgeglühten Material gebildeter Schwingkörper in dem in Fig. 28 und 29 gezeigten Schwingkreis verwendet wird,

Fig. 38 eine Schnittansicht einer Modifikation des in Fig. 28 und 29 gezeigten Ausführungsbeispiels,

Fig. 39 eine Darstellung einer weiteren Modifikation des in Fig. 28 und 29 gezeigten Ausführungsbeispiels,

Fig. 40 eine Darstellung eines weiteren Ausführungsbeispiels der vorliegenden Erfindung,

Fig. 41 eine Darstellung einer Modifikation des in Fig. 40

gezeigten Ausführungsbeispiels,

Fig. 42 eine Darstellung einer weiteren Modifikation des in Fig. 40 gezeigten Ausführungsbeispiels,

Fig. 43 eine Darstellung einer Modifikation des in Fig. 42 gezeigten Ausführungsbeispiels,

Fig. 44 eine Darstellung einer weiteren Modifikation des in Fig. 40 gezeigten Ausführungsbeispiels,

Fig. 45 eine Darstellung einer Modifikation des in Fig. 44 gezeigten Ausführungsbeispiels,

Fig. 46 eine Darstellung einer weiteren Modifikation des in Fig. 44 gezeigten Ausführungsbeispiels,

Fig. 47 eine Darstellung eines Schwingungserregers,

Fig. 48 eine Darstellung einer Modifikation des in Fig. 47 gezeigten Ausführungsbeispiels,

Fig. 49 eine Darstellung einer weiteren Modifikation des in Fig. 47 gezeigten Ausführungsbeispiels,

Fig. 50 eine Darstellung eines Beispiels für einen herkömmlichen Schwingkreis gemäß Stand der Technik,

Fig. 51 eine perspektivische Darstellung des in Fig. 50 gezeigten Schwingkreises,

Fig. 52 eine Schnittansicht entlang der Linie LII/LII gemäß Fig. 51,

Fig. 53 eine Darstellung der Schwingungen des in Fig. 50 gezeigten Schwingkreises bei Nichtrotation, und

Fig. 54 eine Darstellung der Schwingungen des in Fig. 50 gezeigten Schwingkreises bei Rotation.

Gemäß Fig. 1 und 2 umfaßt ein Schwingkreis 10 einen Schwingungsanzeiger 12, der einen beispielsweise gleichseitigen dreiflächigen prismaförmigen Schwingkörper 14 umfaßt. Der Schwingkörper 14 ist aus einem konstant elastischen Metall wie NI-, FE-, CR- oder TI-Legierungen hergestellt.

In dem Ausführungsbeispiel sind auf einer Seitenfläche des Schwingkörpers 14 zwei piezoelektrische Treiber-elemente 16a1 und 16a2 an der Längssymmetrieachse gebildet. Die piezoelektrischen Elemente 16a1 und 16a2 sind parallel seitlich zur Seitenfläche des Schwingkörpers 14 angeordnet.

Wie in Fig. 2 gezeigt, umfaßt ein piezoelektrisches Element 16a1 eine piezoelektrische Lage 18a1, die beispielsweise aus Keramik besteht. An beiden Oberflächen der piezoelektrischen Lage 18a1 sind Elektroden 20a1 bzw. 22a1 ausgebildet. Eine Elektrode 20a1 ist an den Schwingkörper 14 angeklebt.

Entsprechend umfaßt das andere piezoelektrische Element 16a2 ebenfalls eine piezoelektrische Lage 18a2, an deren beiden Oberflächen Elektroden 20a2, 22a2 ausgebildet sind. Eine Elektrode 20a2 ist an dem Schwingkörper 14 angeklebt. In dem Ausführungsbeispiel sind die piezoelektrischen Lagen 18a1 und 18a2 einstückig ausgebildet, und die Elektroden 20a1 und 20a2 an den Schwingkörper 14 angeklebt und ebenso einstückig ausgebildet. Entsprechend sind aus praktischen Gründen in der Mitte der verbleibenden zwei Seitenflächen des Schwingkörpers 14 piezoelektrische Detektorelemente 16b und 16c gebildet. Ein piezoelektrisches Detektorelement 16b umfaßt, wie in Fig. 2 gezeigt, eine piezoelektrische Lage 18b, an deren beiden Oberflächen Elektroden 20b und 22b angeordnet sind. Eine Elektrode 20b ist auf die Seitenfläche des Schwingkörpers 14 aufgeklebt. Entsprechend umfaßt das andere piezoelektrische Detektorelement 16c ebenfalls eine piezoelektrische Lage 18c, an deren beiden Oberflächen Elektroden 20c und 22c angeordnet sind. Eine Elektrode 20c ist auf den Schwingkörper 14 aufgeklebt. Entsprechend sind in dem beschriebenen Ausführungsbeispiel die piezoelektrischen Treiber-elemente 16a1 und 16a2 auf den Seitenflächen des Schwingkörpers 14 gebildet, auf denen nicht die piezoelektrischen Detektorelemente 16b und 16c gebildet sind.

Somit führt der Schwingkörper 14 Biegeschwingungen

aus, in dem ein Treibersignal zwischen den piezoelektrischen Treiberelementen 16a1 und 16a2 angelegt wird, und Lagerelemente 24a und 24b an dessen Knotenpunkten gesichert sind. Die Lagerelemente 24a und 24b sind durch Schweißen, beispielsweise eines Metalldrahtes oder dergleichen, an dem Schwingkörper 14 befestigt. Der Schwingkreis 10 wird in einem Schaltkreis verwendet, wie er in Fig. 3 gezeigt ist. Demgemäß ist die Eingangsseite eines Oszillators 50 mit einem piezoelektrischen Treiberelement 16a1 des Schwingkreises 10 verbunden, und dessen Ausgangsseite ist mit dem anderen piezoelektrischen Treiberelement 16a2 über einen Phasenschaltkreis 52 und einen AGC-Schaltkreis 54 verbunden. Somit wird das in dem Oszillator 50 verstärkte Signal in dem Phasenschaltkreis 52 phasengesteuert und nach der Gainsteuerung in dem AGC-Schaltkreis 54 an das piezoelektrische Treiberelement 16a2 angelegt. Dann wird das stabile Treibersignal, das bei Resonanzfrequenzen des Schwingungserregers 14 gegeben ist, an den Schwingkreis 10 über den Oszillator 50, den Phasenschaltkreis 52 und den AGC-Schaltkreis 54 angelegt.

Währenddessen sind die piezoelektrischen Detektorelemente 16b und 16c mit der Eingangsseite eines Differentialverstärkers 60 verbunden, durch welchen die Ausgangsspannungsdifferenz zwischen den piezoelektrischen Detektorelementen 16b und 16c gemessen wird. Der Differentialverstärker 60 ist mit einem synchronisierenden Detektorschaltkreis 90 verbunden, welcher mit dem Oszillator 50 verbunden ist, um den Ausgang des Differentialverstärkers 60 in Synchronisation mit den Schwingungsfrequenzen des Oszillators 50 zu erfassen. Das von dem synchronisierenden Detektorschaltkreis 90 erfaßte Signal wird durch den Glättungsschaltkreis 92 geglättet und weiterhin durch einen DC-Verstärker 94 verstärkt.

Wird der Schwingkreis 10 nicht rotiert, führt er, wie übertrieben in Fig. 4 dargestellt, Biegeschwingungen in senkrecht zu den Hauptoberflächen der piezoelektrischen Treiberelemente 16a1 und 16a2 liegender Richtung durch. In diesem Fall sind, da die Biegegrößen der Oberflächen des Schwingkörpers 14, die mit den piezoelektrischen Detektorelementen 16b und 16c versehen sind, gleich sind, die Ausgangsspannungen, die in den piezoelektrischen Detektorelementen 16b und 16c erzeugt werden, gleich. Somit werden die Ausgangsspannungen der piezoelektrischen Detektorelemente 16b und 16c in dem Differentialverstärker 60 gegeneinander aufgehoben und der Ausgang wird somit Null. Das heißt, der Ausgang bei Nichtrotation kann in dem Schwingkreis 10 leicht zu Null gemacht werden.

Weiterhin wird, wenn der Schwingkreis 10 um seine Achse rotiert wird, eine Korioliskraft in senkrecht zu der Schwingrichtung des Schwingkörpers 14 liegender Richtung ausgeübt. In diesem Fall weicht die Schwingrichtung des Schwingkörpers 14, wie übertrieben in Fig. 5 dargestellt, von der Schwingrichtung bei Nichtrotation ab. Damit führt beispielsweise das piezoelektrische Detektorelement 16c Biegebewegungen in einer nahezu senkrecht zu seiner Hauptoberfläche liegender Richtung durch, und das piezoelektrische Detektorelement 16b führt Biegebewegungen in einer nahezu parallel zu seiner Hauptoberfläche liegenden Richtung durch. Somit steigt die in dem piezoelektrischen Detektorelement 16c erzeugte Ausgangsspannung, und die in dem piezoelektrischen Detektorelement 16b erzeugte Ausgangsspannung sinkt. Entsprechend kann ein größerer Ausgang von dem Differentialverstärker 60 im Vergleich mit herkömmlichen Schwingkreisen erhalten werden. Somit kann bei dem Schwingkreis 10 die Drehwinkelgeschwindigkeit leichter ermittelt werden als bei herkömmlichen Schwingkreisen.

In dem oben beschriebenen Ausführungsbeispiel wurde

die Ausgangsspannungsdifferenz zwischen den zwei piezoelektrischen Detektorelementen 16b und 16c gemessen, es kann jedoch jede der beiden Ausgangsspannungen gemessen werden, um die Drehwinkelgeschwindigkeit zu ermitteln.

Weiterhin kann, obwohl in dem oben beschriebenen Ausführungsbeispiel der Schwingkörper 14 als gleichseitiges dreiflächiges Prisma gebildet ist, dieser auch als gleichschenkliges dreiseitiges Prisma gebildet werden. In diesem Fall sollten die piezoelektrischen Detektorelemente 16b und 16c auf den jeweils gleichflächigen Seitenflächen des Schwingkörpers 14 gebildet werden. Weiterhin kann der Schwingkörper 14 auch in eine allgemeine dreiflächige Form, oder in eine mehrflächige Prismaform wie einem fünfflächigen oder achtfächigen Prisma gebildet werden. In diesem Fall sollten die piezoelektrischen Detektorelemente wenigstens auf einer Seitenfläche des Schwingkörpers gebildet werden, auf der keine piezoelektrischen Treiberelemente gebildet sind.

Obwohl in dem oben beschriebenen Ausführungsbeispiel die Lagerelemente 24a und 24b jeweils in einem Punkt an dem Schwingkörper 14 befestigt sind, wie in Fig. 6 gezeigt, können diese auch jeweils an zwei Punkten befestigt sein. Das heißt, die Lagerelemente 24a und 24b sollten in jedem Fall an den Knotenpunkten des Schwingkörpers 14 befestigt sein.

Weiterhin, wie in Fig. 7 gezeigt, können die piezoelektrischen Treiberelemente 16a1 und 16a2 in länglichem Abstand an dem Schwingkörper 14 befestigt sein.

Gemäß Fig. 8 umfaßt der Differentialverstärker 60 zwei Eingangsseiten 62, 64 und eine Ausgangsseite 66. Der Differentialverstärker 60 umfaßt weiterhin einen Operationsverstärker 68. Eine Eingangsseite 62 ist mit einem Umkehreingangsanschluß des Operationsverstärkers 68 über einen Widerstand 70 verbunden. Der Umkehreingangsanschluß des Operationsverstärkers 68 ist über einen Widerstand 72 geerdet.

Die andere Eingangsseite 64 des Differentialverstärkers 60 ist über einen nicht umkehrenden Eingangsanschluß des Operationsverstärkers 68 über einen Widerstand 74 verbunden. Der nicht umkehrende Eingangsanschluß des Operationsverstärkers 68 ist über einen Widerstand 76 geerdet. Das Verhältnis  $R2/R1$  der Widerstandsbeiwerte  $R1$  und  $R2$  der beiden Widerstände 74 und 76, die mit den nicht umkehrenden Eingangsanschlüssen des Operationsverstärkers 68 verbunden sind, ist so gewählt, daß es gleich dem Verhältnis  $R4/R3$  der Widerstandsbeiwerte  $R3$  und  $R4$  der beiden Widerstände 70 und 72 ist, die mit den Umkehreingangsanschlüssen des Operationsverstärkers 68 verbunden sind.

Der Ausgangsanschluß des Operationsverstärkers 68 ist mit dem Ausgang 66 des Differentialverstärkers 60 verbunden, der Ausgangsanschluß und der Umkehreingangsanschluß des Operationsverstärkers 68 sind über einen Widerstand 78 miteinander verbunden. Bei einem derartigen Differenzialverstärker 60 wird dessen Verstärkung durch das Verhältnis  $R5/R3$  der Widerstandsbeiwerte  $R3$  und  $R5$ , zum einen des Widerstands 70 zwischen der Eingangsseite 62 und dem Umkehreingangsanschluß des Operationsverstärkers 68, und andererseits des Widerstandes 78 zwischen dem Umkehreingangsanschluß und dem Ausgangsanschluß des Operationsverstärkers 68, bestimmt. Somit wird, wenn die Eingangsspannung  $V1$  an der Eingangsseite 62 und die Eingangsspannung  $V2$  an der Eingangsseite 64 angelegt werden, die Ausgangsspannung  $V$ , die an dem Ausgangsende 66 erzeugt wird, wie folgt berechnet:  $V = (V1 - V2) R5/R3$ .

Bei einem derartigen Differentialverstärker 60 ist, um die Zunahme an der nicht umkehrenden Eingangsseite zu steu-

ern, wie beispielsweise in Fig. 9 gezeigt, ein variabler Widerstand 80 mit dem nicht umkehrenden Eingangsanschluß des Operationsverstärkers 68 verbunden. In diesem Fall ist ein fester Anschluß des Stellwiderstandes 80 mit der Eingangsseite 64 verbunden und der andere feste Anschluß geerdet. Der Stellanschluß des Stellwiderstandes Null ist dann mit dem nicht umkehrenden Eingangsanschluß des Operationsverstärkers 68 verbunden. Um beispielsweise eine zehnfache Verstärkung durch einen derartigen Differentialverstärker 60 zu erzielen, werden beispielsweise die Widerstandsbeiwerte R3 und R4 der Widerstände 70 und 72, die mit den Umkehreingangsanschlüssen des Operationsverstärkers 68 verbunden sind, jeweils mit 1 k $\Omega$  gewählt, während der Widerstandsbeiwert R5 des Widerstandes 78 mit 10 k $\Omega$  gewählt wird. Der Widerstandsbeiwert zwischen den zwei festen Anschlüssen des Stellwiderstandes 80 ist beispielsweise mit 2 k $\Omega$  gewählt. In diesem Fall wird, da die Widerstandsbeiwerte R3 und R4 der Widerstände 70 und 72, die mit den Umkehreingangsanschlüssen des Operationsverstärkers 68 verbunden sind, jeweils mit 1 k $\Omega$  gewählt wurden, der Stellanschluß des Stellwiderstandes 80 im wesentlichen ungefähr in der Mitte zwischen den beiden festen Anschlüssen gesteuert. Das heißt, der Stellanschluß des Stellwiderstandes 80 wird annähernd auf 1 k $\Omega$  zwischen den zwei festen Anschlüssen gesteuert.

Bei einem herkömmlichen Differentialverstärker und den Widerstand 72 mußte der Stellwiderstand 80 in der Nähe eines Endes zur Verstärkungskontrolle geregelt werden, während in dem Differentialverstärker 60 gemäß Fig. 9 die Verstärkungssteuerung sehr einfach ist, da es im wesentlichen nahe der Mitte des Stellwiderstandes 80 bewirkt wird.

Um in einem Differentialverstärker des Standes der Technik eine Verstärkungssteuerung nahe der Mitte des Stellwiderstandes zu ermöglichen, wurde ein Festwiderstand in Reihe zu dem Stellwiderstand geschaltet. In diesem Fall wird, da die Widerstandstemperaturkoeffizienten des variablen und des festen Widerstandes ungleich sind, eine durch die atmosphärische Temperatur bewirkte Verschiebung stattfinden. Im Gegensatz dazu muß der Festwiderstand bei dem Differentialverstärker 60 gemäß Fig. 9 nicht mit dem Stellwiderstand 80 verbunden sein, so daß eine Verschiebung durch atmosphärische Temperatur kaum erzeugt werden kann.

Bei diesem Differentialverstärker ist der Umkehreingangsanschluß des Operationsverstärkers über einen Widerstand geerdet. Deshalb sind das Verhältnis des Widerstandes zwischen der Eingangsseite des Differentialverstärkers und dem Umkehreingangsanschluß des Operationsverstärkers, der Widerstand zwischen dem Umkehreingangsanschluß des Operationsverstärkers und der Erde, das Verhältnis des Widerstandes zwischen der Eingangsseite und dem nicht umkehrenden Eingangsanschluß des Operationsverstärkers, und der Widerstand zwischen dem nicht umkehrenden Eingangsanschluß des Operationsverstärkers und der Erde im wesentlichen gleich.

Entsprechend kann, bei geeigneter Wahl des Verhältnisses des Widerstandes zwischen der Eingangsseite des Differentialverstärkers und dem Umkehreingangsanschluß des Operationsverstärkers, sowie dem Widerstand zwischen dem Eingangsanschluß des Operationsverstärkers und der Erde, das Verhältnis des Widerstandes zwischen der Eingangsseite des nicht umkehrenden Eingangsanschlusses des Operationsverstärkers, sowie der Widerstand zwischen dem nicht umkehrenden Eingangsanschluß des Operationsverstärkers und der Erde wahlweise geändert werden. Damit kann, wenn ein Stellwiderstand an dem Eingangsanschluß des Operationsverstärkers zur Verstärkungskontrolle an der nicht umkehrenden Eingangsseite des Differentialverstär-

kers angeschlossen ist, die Steuerung nahe der Mitte des Stellwiderstandes durchgeführt werden, ein Festwiderstand muß nicht notwendigerweise mit dem Stellwiderstand verbunden sein. Somit kann die Verstärkungskontrolle an der nicht umkehrenden Eingangsseite des Differentialverstärkers einfach durchgeführt werden und eine Verschiebung in Folge atmosphärischer Temperatur kaum stattfinden.

Bei dem oben beschriebenen Differentialverstärker 60 kann, obwohl der Stellwiderstand der Widerstände 70 und 72 zur Steuerung nahe der Mitte des Stellwiderstandes 80 gleich gewählt ist, wenn das Widerstandsbeiwertverhältnis der Widerstände 70 und 72 1 : 2 gewählt wird, der bewegliche Anschluß des Stellwiderstandes 80 ebenfalls in der im Verhältnis 1 : 2 zwischen den beiden festen Anschlüssen liegenden Position gesteuert werden. Somit kann durch geeignete Wahl der Widerstandsbeiwerte der mit dem Operationsverstärker 68 verbundenen Widerstände die Verstärkungssteuerung in jeder Position des Stellwiderstandes 80 bewirkt werden. Bei dem Differentialverstärker 60 können der Widerstandsbeiwert R3 des Widerstandes 70, der mit dem Umkehreingangsanschluß des Operationsverstärkers 68 verbunden ist und die Widerstandsbeiwerte R1 und R2 der Widerstände 74 und 76, die mit den nicht umkehrenden Eingangsanschlüssen verbunden sind, frei gesetzt werden, auch wenn die beiden Eingangsanschlußwiderstände auf die gleichen Werte gesetzt werden sollen, kann dies einfach durchgeführt werden.

Bei dem beschriebenen Differentialverstärker 60 kann, obwohl der Stellwiderstand 80 mit dem nicht umkehrenden Eingangsanschluß des Operationsverstärkers 68 verbunden wurde, wie in Fig. 10 gezeigt, der Stellwiderstand 82 mit dem Umkehreingangsanschluß des Operationsverstärkers 68 zur Verstärkungssteuerung verbunden werden. Insbesondere ist es möglich, die Verstärkung zu steuern, in dem der Stellwiderstand mit beiden der Umkehreingangsanschlüsse und nicht umkehrenden Eingangsanschlüsse des Operationsverstärkers 68 verbunden wird.

Gemäß Fig. 11 und 12 umfaßt ein Schwingungserreger 12 eines Schwingkreises einen Schwingkörper 14, der beispielsweise eine gleichseitige dreiflächige Prismaform hat. Der Schwingkörper 14 wird aus einem Material gebildet, welches im allgemeinen mechanische Schwingungen erzeugt, wie Elinvar, Eisen-/Nickel-Legierungen, Quarz, Glas, Kristall, Keramik und dergleichen.

Auf dem Schwingkörper 14 sind in der Mitte seiner drei Flächen piezoelektrische Elemente 16a, 16b und 16c gebildet. Das piezoelektrische Element 16a umfaßt eine piezoelektrische Lage 18a, die beispielsweise aus Keramik besteht, und auf zwei Hauptoberflächen desselben sind jeweils Elektroden 20a bzw. 22a gebildet. Die Elektroden 20a und 22a sind aus einem Elektrodenmaterial wie Gold, Silber, Aluminium, Nickel, Kupfer-/Nickel-Legierungen (Monel-Metall) und dergleichen gebildet und mittels Dünnschicht-techniken wie Zerstäuben und Aufdampfen oder, in Abhängigkeit vom Material, durch Drucktechniken aufgebracht werden. Entsprechend umfassen die anderen piezoelektrischen Elemente 16b und 16c jeweils piezoelektrische Lagen 18b und 18c, ebenfalls beispielsweise aus Keramik gebildet, auf deren beiden Oberflächen jeweils Elektroden 20b bzw. 22b oder 20c bzw. 22c gebildet sind. Die Elektroden 20a bis 20c der piezoelektrischen Elemente 16a bis 16c sind an dem Schwingkörper 14 angeklebt, beispielsweise mittels leitfähiger Klebstoffe.

Der Schwingkörper 14 ist mittels Lagerelementen 24a und 24b, die aus einem Metalldraht bestehen und in der Nähe der Knotenpunkte angeordnet sind, gelagert. Die Lagerelemente 24a und 24b sind nahe der Knotenpunkte des Schwingkörpers 14, beispielsweise durch Schweißen gesi-

chert. Die Lagerelemente 24a und 24b können ebenfalls mittels einer leitfähigen Paste befestigt werden. Die Lagerelemente 24a und 24b werden als Erdungsanschlüsse des Schwingkreises 10 verwendet.

Bei dem Schwingkreis 10 werden, wenn irgendeines der piezoelektrischen Elemente 16a bis 16c zum Treiben verwendet wird, die verbleibenden zwei piezoelektrischen Elemente als Detektorelemente verwendet. In diesem Ausführungsbeispiel wird beispielsweise das piezoelektrische Element 16a als Treiber und die anderen piezoelektrischen Elemente 16b und 16c als Detektoren verwendet. Wird das Treibersignal an das piezoelektrische Treiberelement 16a angelegt, schwingt der Schwingkörper 14 und die sinusähnlichen Wellen werden durch die piezoelektrischen Detektorelemente 16b und 16c ausgegeben. Wird der Schwingkreis 10 unter diesen Bedingungen um seine Achse rotiert, steigt der Ausgang eines piezoelektrischen Detektorelementes in Abhängigkeit von der Drehwinkelgeschwindigkeit, und umgekehrt, fällt der Ausgang des anderen piezoelektrischen Detektorelementes.

Unter Hinweis auf Fig. 13 ist zwischen den piezoelektrischen Detektorelementen 16b, 16c und dem piezoelektrischen Treiberelement 16a des Schwingkreises 10 ein Oszillator 100 als Rückkopplungsschleife für die Selbstoszillation zum Treiben des Schwingkreises 10 angeordnet. Das heißt, der Oszillator 100 ist so ausgelegt, daß er die Ausgänge der piezoelektrischen Detektorelemente 16b und 16c in verbundener Form an das piezoelektrische Treiberelement 16a anlegt, und er umfaßt einen Stellwiderstand 102 mit zwei festen Anschlüssen 102a und 102b als Eingangsanschlüsse. Die festen Anschlüsse 102a und 102b des Stellwiderstandes 102 sind jeweils mit den Elektroden 22b bzw. 22c der piezoelektrischen Elemente 16b und 16c verbunden.

Der Stellwiderstand 102 ist so ausgelegt, daß er die Spannungsfehler und Phasendifferenzen, die zwischen den Ausgängen der piezoelektrischen Elemente 16b und 16c erzeugt werden, korrigiert, und diese Ausgänge vermischt. Anstelle des variablen Widerstandes 102 können diese Ausgänge auch durch zwei Festwiderstände vermischt werden.

Weiterhin ist ein Stellanschluß 102c des Stellwiderstandes 102 mit einer Eingangsseite eines umkehrenden Verstärkers 104 verbunden. Der umkehrende Verstärker 104 umfaßt einen Operationsverstärker 106, und ist so ausgelegt, daß er die Ausgangsphase des variablen Widerstandes 102 umkehrt und dieses Signal verstärkt.

Eine Ausgangsseite des umkehrenden Verstärkers 104 ist mit einer Eingangsseite eines Tiefpaßfilters 108 verbunden, welcher Zwei-Stufen RC-Filter 110 und 112 umfaßt. Jeder der RC-Filter 110 und 112 hat einen Verzögerungsleistungsfaktor von beispielsweise 45°. Der Tiefpaßfilter 108 ist zur Verzögerung der Ausgangsphase von dem umkehrenden Verstärker 104 um 90° und zur Unterdrückung der harmonischen Komponenten, die in dem Ausgang enthalten sind, vorgesehen. Eine Ausgangsseite des Tiefpaßfilters 108 ist mit der Elektrode 22a des piezoelektrischen Treiberelementes 16a über einen Widerstand 114 verbunden.

Die Ausgänge der piezoelektrischen Elemente 16b und 16c des Schwingkreises 10 werden entsprechend an zwei Eingangsseiten eines Differentialverstärkers 150 zur Ermittlung der Ausgangsdifferenz angelegt.

Das heißt, der Differentialverstärker 150 umfaßt einen Idealdiodenschaltkreis 142, an deren Eingangsseite die Elektrode 22b eines piezoelektrischen Detektorelementes 16b verbunden ist. Der Idealdiodenschaltkreis 152 umfaßt einen Operationsverstärker 154 und zwei Dioden 156 und 158, die in Vorwärtsrichtung zur Halbwellengleichrichtung des Sinuswellenausgangs von dem piezoelektrischen Element 16b in ein positives Signal zwischengeschaltet sind.

Die Elektrode 22c des anderen piezoelektrischen Detektorelementes 16c ist an einer Eingangsseite eines anderen Idealdiodenschaltkreises 160 angeschlossen, dessen Polarität sich von dem vorgenannten idealen Diodenschaltkreis 152 unterscheidet. Der Idealdiodenschaltkreis 160 umfaßt einen Operationsverstärker 162 und zwei Dioden 164 und 166, die umgekehrt zur Halbwellengleichrichtung des Sinuswellenausgangs von dem piezoelektrischen Element 16c in ein negatives Signal zwischengeschaltet sind. Die Ausgangsseiten der Idealdiodenschaltkreise 152 und 160 sind jeweils mit den Eingangsseiten von den Glättungsschaltkreisen 168 und 170 verbunden, die beispielsweise RC-Filter enthalten. Die Ausgangsseiten der Glättungsschaltkreise 168 und 170 sind mit den festen Anschlüssen 172a und 172b eines Stellwiderstandes 172 als Mischvorrichtung verbunden. Der Stellwiderstand 172 umfaßt einen Stellanschluß 172c. Im folgenden wird der Betrieb der jeweiligen Schaltkreise bei Nichtrotation und bei Rotation des Schwingkreises 10 unter Hinweis auf die Fig. 13, 14 und 15 beschrieben. Fig. 13 zeigt die Ausgangswellenform von den jeweiligen Bereichen bei Nichtrotation des Schwingkreises 10. Fig. 14 zeigt die Ausgänge der piezoelektrischen Detektorelemente 16b und 16c, einen Ausgang des Stellwiderstandes 102 des Oszillators 100 und einen Ausgang des Differentialverstärkers 150 bei Nichtrotation des Schwingkreises 10, und Fig. 15 zeigt diese Ausgänge bei Rotation des Schwingkreises 10 in einer Richtung. In diesem Fall sind in den Fig. 14 und 15 die Größen und Formen der Wellen der Ausgänge mehr oder weniger korrekt gezeigt, jedoch die Phasen sehr ungenau.

Bei Nichtrotation des Schwingkreises 10 führt dieser Biegeschwingungen in einer Richtung senkrecht zu der Hauptoberfläche des piezoelektrischen Treiberelementes 16a durch, so daß die piezoelektrischen Elemente 16b und 16c gleichförmig gebogen werden. Deshalb werden von den piezoelektrischen Elementen 16b und 16c, wie insbesondere in Fig. 14 gezeigt, gleiche Sinuswellen ausgegeben.

Bei dem Oszillator 100 werden die Ausgänge von den piezoelektrischen Elementen 16b und 16c von dem Stellanschluß 102c des Stellwiderstandes 102 in vermischter Form ausgegeben. In diesem Fall zeigt der vermischte Ausgang der piezoelektrischen Elemente 16b und 16c eine vorbestimmte Sinuswelle mit einer Phase von -90° auf der Basis der Treiberseite des Schwingkreises 10 in einem idealen Status. Allerdings kann eine vorbestimmte Sinuswelle, wenn Spannungsfehler und Phasendifferenzen zwischen den Ausgängen der piezoelektrischen Elemente 16b und 16c erzeugt werden, nicht durch einfaches Mischen der Ausgänge der piezoelektrischen Elemente 16b und 16c erreicht werden. Jedoch können die Spannungsfehler und Phasendifferenzen zwischen den Ausgängen der piezoelektrischen Elemente 16b und 16c durch Steuerung des Stellwiderstandes 102 korrigiert werden. Somit kann durch Steuerung des Stellwiderstandes 102 der Ausgang des Stellanschlusses 102c in eine vorbestimmte Sinuswelle mit einer Phase von -90° auf der Basis der Treiberseite korrigiert werden. In dem Umkehrverstärker 104 wird die sinuswellenförmige Ausgangsphase des Stellwiderstandes 102 umgekehrt und das Signal verstärkt. Somit wird von dem Umkehrverstärker 104 ein Signal mit einer Phase von 90° auf der Basis der Treiberseite des Schwingkreises 10 ausgegeben.

In dem Tiefpaßfilter 108 wird die Ausgangsphase des Umkehrverstärkers 104 um 90° verzögert und in dem Ausgang enthaltene harmonische Wellenanteile unterdrückt. Somit wird von dem Tiefpaßfilter 108 ein konstantes Signal ohne unerwünschte harmonische Wellenkomponenten jeweils in der gleichen Phase wie die Treiberseite des Schwingkreises 10 ausgegeben.

Der Ausgang des Tiefpaßfilters 108 wird an die Elektrode



22a des piezoelektrischen Treiberelementes 16a über den Kopplungswiderstand 114 angelegt. Somit wird in diesem Ausführungsbeispiel der selbstoszillierende Treiber des Schwingkreises 10 effektiv vervollständigt.

In dem Differentialverstärker 150 wird eine Halbwellengleichrichtung des Sinuswellenausganges des piezoelektrischen Elements 16d in positiver Richtung durch den Idealdiodenschaltkreis 152 durchgeführt. Somit wird ein positives Sinuswellenausgangssignal des piezoelektrischen Elementes 16b von dem Idealdiodenschaltkreis 152 ausgegeben. Weiterhin wird in negativer Richtung eine Halbwellengleichrichtung des Sinuswellenausgangssignals des piezoelektrischen Elementes 16c durch den Idealdiodenschaltkreis 160 durchgeführt, dessen negatives Sinuswellenausgangssignal ausgegeben wird.

Durch die Glättungsschaltkreise 168 und 170 werden die Ausgänge der Idealdiodenschaltkreise 152 und 160 in positive und negative Gleichstromanteile geglättet. Diese Gleichstromausgänge werden an die festen Anschlüsse 172a und 172b des Stellwiderstandes 172 zur Mischung angelegt. Somit werden von dem Stellanschluß 172c des Stellwiderstandes 172 die Gleichstromausgänge der Glättungsschaltkreise 168 und 170 in vermischter Form ausgegeben. In dem Differentialverstärker 150 wird der Ausgang des piezoelektrischen Elementes 16b durch positive Halbwellengleichrichtung geglättet, und der Ausgang des piezoelektrischen Elementes 16c durch Halbwellengleichrichtung in entgegengesetzter Richtung vor der Mischung geglättet, so daß, auch wenn eine Phasendifferenz zwischen diesen Ausgängen vorliegt, keine Phasendifferenzfehler stattfinden.

Auch wenn zwischen diesen Ausgängen Spannungsfehler vorliegen, können diese durch Steuerung des Stellwiderstandes 172 als Mischvorrichtung korrigiert werden. Bei diesem Ausführungsbeispiel wird der Ausgang des Differentialverstärkers 150 bei Nichtrotation des Schwingkreises 10 auf Null gesteuert. Somit, wenn bestätigt wird, daß der Ausgang des Differentialverstärkers 150 Null ist, ist es bekannt, daß der Schwingkreis 10 nicht rotiert.

Wenn jedoch der Schwingkreis 10 in einer Richtung um seine Achse rotiert, wird eine Korioliskraft in senkrecht zur Schwingrichtung liegender Richtung ausgeübt. Somit weicht die Schwingrichtung des Schwingkreises 10 von der Schwingrichtung bei Nichtrotation ab. Zu diesem Zeitpunkt führt beispielsweise ein piezoelektrisches Detektorelement 16b Biegeschwingungen in senkrecht zu seiner Hauptoberfläche liegender Richtung durch, während das andere piezoelektrische Detektorelement 16c Biegeschwingungen in im wesentlichen parallel zu seiner Hauptoberfläche liegender Richtung durchführt. Wie insbesondere in Fig. 15 gezeigt wächst damit der Ausgang des einen piezoelektrischen Detektorelementes 16b, während sich der Ausgang des anderen piezoelektrischen Detektorelementes 16c um den Ausgangsanteil des piezoelektrischen Elementes 16b verringert. Somit wird auch in diesem Fall der Ausgang des Stellwiderstandes 102 des Oszillators 100 der gleiche wie der Ausgang bei Nichtrotation. Dieser Ausgang des Stellwiderstandes 102 wird, wenn er dem Fall der Nichtrotation gleich ist, an das piezoelektrische Treiberelement 16a über den Umkehrverstärker 104, den Tiefpaßfilter 108 usw. angelegt. Damit kann also auch bei Rotation des Schwingkreises 10, genauso wie bei Nichtrotation, Selbstoszillationstreiben des Schwingkreises 10 effizient durchgeführt werden.

Andererseits wird bei dem Differentialverstärker 150, da der Ausgang des piezoelektrischen Elementes 16b größer wird als der des piezoelektrischen Elementes 16c, der absolute Ausgangswert des Glättungsschaltkreises 168 größer als der des anderen Glättungsschaltkreises 170. Wie in Fig. 15 gezeigt wird damit ein positiver Gleichstrom von dem

Stellwiderstand 172 als Mischergebnis ausgegeben, wodurch erkannt wird, daß der Schwingkreis 10 in einer Richtung rotiert.

Da die Ausgangsdifferenz zwischen den piezoelektrischen Elementen 16d und 16c wächst, wenn die Drehwinkelgeschwindigkeit des Schwingkreises 10 wächst, wächst somit auch der Ausgang des Differentialverstärkers 150. Damit kann aus der Größe des Ausgangs des Differentialverstärkers 150 die Drehwinkelgeschwindigkeit des Schwingkreises 10 ermittelt werden. Auch in diesem Fall werden bei dem Differentialverstärker 150 die Ausgänge des piezoelektrischen Elementes 16b durch positive Halbwellengleichrichtung, und die Ausgänge des piezoelektrischen Elementes 16c durch negative Halbwellengleichrichtung vor der Mischung geglättet, so daß auch im Fall vorliegender Phasendifferenzen zwischen diesen Ausgängen keine Phasendifferenzfehler auftreten.

Wird der Vibrationskreis 10 umgekehrt rotiert, wird, da die Ausgänge der piezoelektrischen Elemente 16b und 16c umgekehrt werden, von dem Differentialverstärker 150 ein negativer Gleichstrom ausgegeben. Das heißt aus der Ausgangspolarität des Differentialverstärkers 150 kann die Rotationsrichtung des Schwingkreises 10 ermittelt werden.

Gemäß vom Erfinder durchgeführter Experimente stehen in diesem Ausführungsbeispiel die Drehwinkelgeschwindigkeit des Schwingkreises 10 und die Ausgangsspannung des Differentialverstärkers 150 in genauer linearer Beziehung und weisen ein hohes S/N-Verhältnis auf, wie in Fig. 16 gezeigt.

Bei dem obenbeschriebenen Ausführungsbeispiel werden zur Selbstoszillationstreibung des Schwingkreises 10 die Ausgänge der zwei piezoelektrischen Detektorelemente 16b und 16c an das piezoelektrische Treiberelement 16a in gemischter Form durch den Oszillator 100 angelegt, jedoch können anstelle dessen diese Ausgänge an das piezoelektrische Treiberelement in vermischter Form durch einen gewöhnlichen Kumulativverstärker angelegt werden. Wichtig ist nur, daß zur Selbstoszillationstreibung des Schwingkreises 10 die Ausgänge der zwei piezoelektrischen Detektorelemente in vermischter Form an das piezoelektrische Treiberelement angelegt werden.

In dem oben beschriebenen Ausführungsbeispiel wurde ein spezieller Differentialverstärker 150 zur Ermittlung der Ausgangsdifferenz der zwei piezoelektrischen Detektorelemente 16b und 16c und zur Messung der Drehwinkelgeschwindigkeit des Schwingkreises 10 verwendet, jedoch kann anstelle des speziellen Differentialverstärkers 150 auch ein herkömmlicher Differentialverstärker zur Ermittlung der Ausgangsdifferenz verwendet werden. In diesem Fall wird die Ausgangsdifferenz in Form einer Sinuswelle erhalten. Wichtig ist insbesondere, daß zum Messen der Drehwinkelgeschwindigkeit des Schwingkreises 10 die Ausgangsdifferenz der zwei piezoelektrischen Detektorelemente ermittelt werden muß.

In dem vorbeschriebenen Oszillator 100 wurden die festen Anschlüsse 102a und 102b des Stellwiderstandes 102 als Eingangsanschlüsse verwendet, während der Stellanschluß 102c desselben direkt mit der Eingangsseite des Umkehrverstärkers 104 verbunden ist, die Eingangsseiten und die festen Anschlüsse 102a, 102b des Stellwiderstandes 102, sowie der Stellanschluß 102c desselben und die Eingangsseiten des Umkehrverstärkers 104 können entsprechend über Widerstände verbunden werden.

Wichtig ist, daß der Oszillator zwei Eingangsseiten sowie einen mit den beiden Eingangsseiten verbundenen Widerstand umfaßt, sowie einen Verstärker, dessen Eingangsseite mit der Mitte des Widerstandes verbunden ist. Werden die beiden Eingangsseiten eines derartigen Oszillators jeweils

mit den zwei piezoelektrischen Detektorelementen eines Schwingungserregers eines Schwingkreises verbunden, und wird eine Eingangsseite des Oszillators mit einem piezoelektrischen Treiberelement des Vibrators verbunden, werden die Ausgänge der beiden piezoelektrischen Detektorelemente an das piezoelektrische Treiberelement in vermischter Form angelegt. In diesem Fall können, durch Steuern des Verbindungspunktes zwischen der Eingangsseite des Verstärkers des Oszillators und der Mitte des Widerstandes Spannungsfehler und Phasendifferenzen, die zwischen den Ausgängen der beiden piezoelektrischen Detektorelemente erzeugt werden, korrigiert werden. Somit wird ein optimales Treibersignal an das piezoelektrische Treiberelement des Schwingungserregers angelegt. Damit kann eine Selbstoszillationstreibung des Schwingungserregers effizient durchgeführt werden.

Fig. 17 ist eine Schnittansicht eines modifizierten Ausführungsbeispiels gemäß Fig. 11 und 12. Bei dem Schwingkreis 10 dieses Ausführungsbeispiels ist insbesondere ein Schwingkörper 14 aus einem schwingenden Material, beispielsweise aus einem Metall wie Elinvar, Eisen-Nickel-Legierungen usw. gebildet. Auf drei Seitenflächen des Schwingkörpers 14 sind piezoelektrische Lagen 18a bis 18c der piezoelektrischen Elemente 16a bis 16c aus einem piezoelektrischen Material wie PZT oder ZnO mittels Dünnschichttechniken wie Aufsprühen oder Aufdampfen gebildet. Damit sind zwischen diesen piezoelektrischen Lagen 18a bis 18c und dem Schwingkörper 14 nicht wie in Fig. 11 und 12 Elektroden 20a bis 20c gebildet. Dies deshalb, weil der Schwingkörper 14 als Elektroden 20a bis 20c dient.

Andrerseits sind auf den Oberflächen der piezoelektrischen Lagen 18a bis 18c Elektroden 22a bis 22c aus einem Elektrodenmaterial wie Gold, Silber, Aluminium, Nickel, Kupfer-Nickel-Legierungen (Monell-Metall usw.) durch Dünnschichttechniken wie Aufsprühen oder Aufdampfen gebildet. In diesem Ausführungsbeispiel sind Lagerelemente 24a und 24b an zwei Punkten nahe der Knotenpunkte des Schwingkörpers 14 gesichert. Dieses Ausführungsbeispiel wird ähnlich wie das in Fig. 11 und 12 gezeigte Ausführungsbeispiel verwendet. In jedem der in Fig. 11, 12 und 17 gezeigten Ausführungsbeispiele kann, obwohl der Schwingkörper als regelmäßiges dreiflächiges Prisma gebildet ist, dieses auch als gleichschenkliges dreiflächiges Prisma gebildet werden. In diesem Fall sollten die piezoelektrischen Elemente, die an den beiden gleichflächigen Seitenflächen des Schwingkörpers 14 gebildet sind, als Detektorelemente verwendet werden. Der Schwingkörper 14 kann ebenso in anderer als gleichschenkliger dreiflächiger Form, in polygonaler Prismaform oder vierflächiger, fünfflächiger oder achtfächiger Prismaform usw. gebildet werden. In diesem Fall sollten piezoelektrische Elemente wenigstens auf drei Seitenflächen des Schwingkörpers gebildet werden. Jedes dieser piezoelektrischen Elemente kann als Treiberelement, und die verbleibenden piezoelektrischen Elemente als Detektorelemente verwendet werden. Wenn ein Treibersignal an das piezoelektrische Treiberelement angelegt wird, schwingt der Schwingkörper. Wenn der Schwingkreis um seine Achse rotiert wird gibt es immer Seitenflächen, deren Hauptoberfläche in im wesentlichen senkrechter zur Schwingrichtung liegender Richtung liegt, obwohl die Schwingrichtung durch eine Korioliskraft geändert wird. Somit kann, wenn die auf diesen Seitenflächen liegenden piezoelektrischen Elemente als Detektorelemente verwendet werden, ein großer Ausgang erreicht werden. Durch diese großen Ausgänge der piezoelektrischen Elemente kann die Drehwinkelgeschwindigkeit des Schwingkreises exakt bestimmt werden.

Da piezoelektrische Elemente auf wenigstens drei Seiten-

flächen des Schwingkörpers gebildet werden, ist es nicht notwendig, zwei piezoelektrische Elemente auf einer Seitenfläche des Schwingkörpers, wie in den in Fig. 1 und 2 gezeigten Ausführungsbeispielen, anzuordnen, woraus eine einfache Konstruktion und geringe Kosten resultieren.

Gemäß Fig. 18 und 19 umfaßt der Schwingkreis 10 einen Schwingungserreger 12, welcher einen Schwingkörper 14 und piezoelektrische Treiberelemente 16a und 16b zum Treiben des Schwingkörpers 14 umfaßt. Der Schwingkörper 14 ist beispielsweise in gleichseitiger dreiflächiger Prismaform gebildet.

Auf der Mittellinie zweier Seitenflächen des Schwingkörpers 14 sind die piezoelektrischen Treiberelemente 16a und 16b gebildet. Wie in Fig. 19 gezeigt ist ein piezoelektrisches Element 16a mit Elektroden 20a und 22a auf beiden Oberflächen einer piezoelektrischen Lage 18a versehen. Die Elektrode 20a ist an die Seitenfläche des Schwingkörpers 14 angeklebt. Entsprechend umfaßt das andere piezoelektrische Element 16b eine piezoelektrische Lage 18b und Elektroden 20b, 22b auf beiden Oberflächen der Lage, wobei die Elektrode 20b an der Seitenfläche des Schwingkörpers angeklebt ist. Durch Anlegen eines Treibersignales an die piezoelektrischen Elemente 16a und 16b führt der Schwingkörper 14 Biegeschwingungen in senkrecht zu der Fläche liegender Richtung durch, auf denen die piezoelektrischen Elemente 16a, 16b nicht gebildet sind. An der Mittellinie der anderen Seitenfläche des Schwingkörpers 14 ist ein piezoelektrisches Detektorelement 16c gebildet. Das piezoelektrische Element 16c umfaßt eine piezoelektrische Lage 18c und Elektroden 20c, 22c, die auf beiden Oberflächen der Lage gebildet sind, wobei die Elektrode 20c an der Seitenfläche des Schwingkörpers 14 angeklebt ist. Durch Erfassen des Ausgangssignals von dem piezoelektrischen Element 16c kann die an dem Schwingkreis 10 anliegende Drehwinkelgeschwindigkeit erfaßt werden. Der Schwingkörper 14 ist durch zwei Lagerelemente 24a und 24b gelagert, welche an einem Ende zwischen zwei Flächen, auf denen die piezoelektrischen Treiberelemente 16a, 16b des Schwingkörpers 14 gebildet sind, befestigt sind. Die Lagerelemente 24a, 24b sind nahe der Knotenpunkte des Schwingkörpers 14 befestigt. In diesem Ausführungsbeispiel liegen, wenn die Länge des Schwingkörpers 14L ist, die Befestigungspunkte jeweils  $0.224L$  von den gegenüberliegenden Enden des Schwingkörpers 14 entfernt. Bei dem Schwingkreis 10 führt, wenn das Treibersignal an die piezoelektrischen Treiberelemente 16a, 16b angelegt wird, der Schwingkörper 14 Biegeschwingungen in senkrecht zu der Fläche liegender Richtung durch, auf der die piezoelektrischen Elemente 16a, 16b nicht gebildet sind. Zu diesem Zeitpunkt sind die Schwingbedingungen der Flächen des Schwingkörpers 14, auf dem die piezoelektrischen Elemente 16a, 16b gebildet sind, auf beiden Seiten der Enden, an denen die Lagerelemente 24a, 24b befestigt sind, symmetrisch. Entsprechend sind die Verbindungsbereiche des Schwingkörpers 14 mit den Lagerelementen 24a, 24b frei von Torsion und die Schwingungen des Schwingkörpers 14 werden kaum gedämpft. Wird eine derartige Lagerkonstruktion des Schwingungserregers bei dem Schwingkreis 10 verwendet, sind Durchgangslöcher oder dergleichen nicht notwendigerweise in dem Schwingkörper 14 zu bilden, sondern die Lagerelemente 24a, 24b können durch Schweißen verbunden werden, was die Herstellung erheblich erleichtert. Weiterhin kann der Schwingungserreger 12 sehr kompakt hergestellt werden, da Durchgangslöcher in dem Schwingkörper 14 nicht angebracht werden müssen.

In dem in Fig. 20 und 21 gezeigten Ausführungsbeispiel ist der Schwingkörper 14 in Form eines gleichseitigen vierflächigen Prismas gebildet. Piezoelektrische Treiberele-



mente 16a, 16b, sind auf der Mittellinie zweier Seitenflächen des Schwingkörpers 14 gebildet, und piezoelektrische Detektorelemente 16c, 16d auf der Mittellinie der anderen beiden Flächen des Schwingkörpers 14. Lagerelemente 24a, 24b sind an den Enden zwischen den Flächen des Schwingkörpers 14, auf denen die piezoelektrischen Treiberelemente 16a, 16b gebildet sind, befestigt. Die Lagerelemente 24a, 24b sind nahe der Knotenpunkte des Schwingkörpers 14 wie in den in Fig. 18 und 19 gezeigten Ausführungsbeispielen befestigt.

Wie in den Fig. 22 und 23 gezeigt, kann der Schwingkörper 14 eine hexagonale Prismaform aufweisen, in dem die Endkanten des Schwingkörpers 14 gemäß Fig. 18 und 19 gebrochen werden. In diesem Fall sind die Lagerelemente 24a, 24b zu der Ebene zwischen den Flächen des Schwingkörpers 14, auf denen die piezoelektrischen Treiberelemente 16a, 16b gebildet sind, befestigt. Auch in diesem Ausführungsbeispiel sind die Lagerelemente 24a, 24b nahe der Knotenpunkte befestigt.

Auch in den in Fig. 20, 21, 22 und 23 gezeigten Ausführungsbeispielen werden die Schwingungen des Schwingkörpers 14 kaum durch die Lagerelemente 24a, 24b gedämpft und der Schwingungserreger kann in kompakter Größe unter Erzielung hervorragender Herstellungsbedingungen hergestellt werden.

Das heißt, jede der Lagerkonstruktionen des Schwingungserregers ist so ausgelegt, daß der Schwingungserreger mit dem mehrflächigen prismaförmigen Schwingkörper, den piezoelektrischen Treiberelementen zum Schwingen des Schwingkörpers, die auf zwei Seitenflächen des Schwingkörpers gebildet sind, die nicht parallel sind, und welche nahe der Knotenpunkte des Schwingkörpers an zwei Punkten auf einer geraden Längslinie des Schwingkörpers und gleichen Abständen von zwei Flächen des Schwingkörpers, auf denen die piezoelektrischen Treiberelemente gebildet sind, zu tragen. Somit sind die Schwingbedingungen der Schwingkörperflächen, auf denen die piezoelektrischen Treiberelemente gebildet sind, auf beiden Seiten einer geraden Verbindungslinie zwischen den Lagerpunkten gleich.

Entsprechend findet kaum eine Torsion des Schwingkörpers an den Lagerpunkten statt, da die Schwingbedingungen der Flächen des Schwingkörpers, auf denen die piezoelektrischen Treiberelemente gebildet sind, auf beiden Seiten der geraden Verbindungslinie zwischen den Lagerpunkten symmetrisch sind.

Da die Lagerpunkte auf den Oberflächen des Schwingkörpers angeordnet sind, sind Durchgangslöcher oder dergleichen nicht notwendigerweise in dem Schwingkörper wie bisher anzuordnen, woraus gute Herstellungsbedingungen resultieren. Weiterhin kann der Schwingungserreger in kompakter Größe gebildet werden, da es nicht notwendig ist, Durchgangslöcher in dem Schwingkörper anzuordnen.

Gemäß Fig. 24 und 25 umfaßt der Schwingungserreger 12 einen gleichseitigen dreiflächigen prismaförmigen Schwingkörper 14. Auf dem Schwingkörper 14 sind piezoelektrische Elemente 16a, 16b und 16c jeweils in der Mitte der drei Seitenflächen gebildet. Weiterhin sind, wenn die Länge des Schwingkörpers 14L ist, an den Endkantenbereichen zwischen den Flächen, auf denen die piezoelektrischen Elemente 16a und 16b gebildet sind, im Abstand von 0.224L einwärts von den gegenüberliegenden Enden, die Mittelbereiche von U-förmigen Lagerelementen 24a und 24b, die beispielsweise aus einem Draht hergestellt sind, gesichert, beispielsweise durch Kleben oder Schweißen.

Wird an die piezoelektrischen Elemente 16a und 16b oder 16c ein Treibersignal angelegt, schwingt der Schwingkörper 14 in senkrecht zu der Hauptoberfläche des piezoelektrischen Elementes 16c liegender Richtung. In diesem Fall,

wenn die Lagerelemente wie oben beschrieben angeordnet sind, werden diese Lagerelemente 24a und 24b umgekehrt zueinander axial zu dem Schwingkörper 14 gebogen.

Die Lagervorrichtung des vorliegenden Ausführungsbeispiels umfaßt eine rechtwinklige flache Lagerbasis 200 aus Metall oder Keramik. Auf einer Hauptoberfläche der Lagerbasis 200 ist ein Schwingungsdämpfer 202 aus elastischem Material wie Gummi, Schwamm und dergleichen angeklebt. Auf einer Hauptoberfläche des Schwingungsdämpfers 202 sind zwei Träger 204 und 206, die in länglicher Richtung geteilt sind, angeklebt. Auf einer Hauptoberfläche eines Trägers 204 sind seitlich voneinander beabstandet fünf Elektroden 208a, 208b, 208c, 208d und 208e gebildet. Auf der Hauptoberfläche des anderen Trägers 206 sind Elektroden 210a und 210b jeweils auf gegenüberliegenden seitlichen Enden gebildet.

An den Elektroden 208a und 208e auf dem Träger 204 sind die entgegengesetzten Enden des Lagerelementes 24a des Schwingungserregers 12 gesichert, beispielsweise durch Schweißen oder dergleichen. Entsprechend sind die beiden Enden des anderen Lagerelementes 24b jeweils an den Elektroden 210a und 210b des anderen Trägers 206 befestigt. An den Elektroden 208b, 208d und 208c des Trägers 204 sind piezoelektrische Elemente 16a, 16b und 16c jeweils in elektrischer Verbindung, beispielsweise durch Lötdrähte, angeordnet.

Wird in diesem Ausführungsbeispiel ein Treibersignal an die Elektroden 208b und 208d des Trägers 204, das heißt an die piezoelektrischen Elemente 16a und 16b, oder an die Elektrode 208c, das heißt an das piezoelektrische Element 16c angelegt, wird der Schwingungserreger 12 angetrieben. In diesem Fall werden, da die Lagerelemente 24a und 24b entgegengesetzt längs zu dem Schwingkörper 14 gebogen werden, die geteilten Träger 204 und 206 unabhängig voneinander bewegt. Somit stören sich die Lagerelemente 24a und 24b nicht gegenseitig, so daß Schwingungen des Schwingungserregers 12 durch diese nicht unterdrückt werden. Damit kann eine stabile Schwinggröße des Schwingungserregers 12 sichergestellt werden. Weiterhin kann, da der Schwingungsdämpfer 202 zwischen der Lagerbasis 200 und den Trägern 204, 206 gebildet ist, eine negative Beeinflussung durch äußere Schwingungen minimiert werden.

Gemäß Fig. 26 und 27 ist ein Schwingkörper 14 eines Schwingungserregers 12 als vierflächiges Prisma gebildet. Piezoelektrische Elemente 16a und 16b sind in der Mitte zweier gegenüberliegender oberer und unterer Seitenflächen des Schwingkörpers 14 gebildet. Zwei Lagerelemente 24a und 24b sind durch die Mitte seitlich der Seitenflächen des Schwingkörpers 14, auf denen keine piezoelektrischen Elemente gebildet sind, angeordnet. Auf einer Hauptoberfläche des Trägers 204 sind vier Elektroden 208a, 208b, 208c und 208d seitlich voneinander beabstandet ausgebildet. Beide Enden des Lagerelementes 24a sind jeweils an den Elektroden 208a und 208d auf der gegenüberliegenden Seite befestigt. An den mittleren Elektroden 208b und 208c sind die piezoelektrischen Elemente 16a und 16b beispielsweise durch Lötdrähte elektrisch verbunden.

Wird an die Mittelelektrode 208b oder 208c des Trägers 204 ein Treibersignal angelegt, wird der Schwingungserreger 12 angetrieben. In diesem Fall werden die Träger 204 und 206, auf welchen die Lagerelemente 24a und 24b befestigt sind, die gegensätzlich zueinander länglich zum Schwingkörper 14 gebogen werden, unabhängig voneinander verschoben, so daß eine stabile Schwingungshöhe des Schwingungserregers 12 sichergestellt werden kann.

In diesem Ausführungsbeispiel können äußere Schwingungen absorbiert werden, da der Schwingungsdämpfer 202 ebenfalls zwischen der Lagerbasis 200 und den Trägern 204,

206 gebildet ist.

In jedem der in Fig. 24 bis 27 gezeigten Ausführungsbeispiel sind die Träger in zwei Teile geteilt, können jedoch in mehrere Teile geteilt werden. Das heißt, die Lagerkonstruktion eines Schwingungserregers ist so ausgestaltet, daß der Schwingungserreger mit einer Mehrzahl von Lagerelementen gelagert wird, und sie umfaßt eine Lagerbasis, einen Schwingungsdämpfer, der auf dieser gebildet ist, Träger, die geteilt und auf dem Schwingungsdämpfer angeordnet sind, und mit welchen eine Mehrzahl von Lagerelementen unabhängig voneinander verbunden sind.

Das heißt, wenn der Schwingungserreger Biegeschwingungen durchführt, werden die Lagerelemente durch die geteilten Träger unabhängig voneinander bewegt, obwohl die Mehrzahl von Lagerelementen ebenfalls gebogen wird.

Da die Mehrzahl von Lagerelementen unabhängig voneinander bewegt werden, werden die Schwingungen des Schwingungserregers nicht unterdrückt. Entsprechend kann eine stabile Schwingungshöhe des Schwingungserregers sichergestellt werden.

Gemäß Fig. 28 und 29 umfaßt ein Schwingungserreger 12 eines Schwingkreises 10 beispielsweise einen gleichseitigen dreiflächigen prismaförmigen Schwingkörper 14. Auf dem Schwingkörper 14 sind piezoelektrische Elemente 16a, 16b und 16c jeweils in der Mitte der drei Seitenflächen gebildet.

Das piezoelektrische Element 16a umfaßt eine piezoelektrische Lage 18a beispielsweise aus Keramik, auf deren Oberfläche eine Elektrode 20a gebildet ist. Die Befestigungselektrode 20a ist an der Seitenfläche des Schwingkörpers 14 beispielsweise mit Klebstoff angeklebt. Auf der anderen Hauptoberfläche der piezoelektrischen Lage 18a sind Verbindungselektroden 22a1, 22a2 und 22a3, geteilt in drei seitlich auf der Seitenfläche des Schwingkörpers 14 liegende Teile, gebildet. Entsprechend umfassen die anderen piezoelektrischen Elemente 16b und 16c ebenfalls piezoelektrische Lagen 18b und 18c, beispielsweise aus Keramik, und auf einer Oberfläche derselben ebenfalls Befestigungselektroden 20b und 20c. Diese Befestigungselektroden 20b und 20c sind ebenfalls an Seitenflächen des Schwingkörpers 14 beispielsweise durch Klebstoffe angeklebt. Auf der anderen Hauptoberfläche der piezoelektrischen Lage 18b sind die Verbindungselektroden 22b1, 22b2 und 22b3 seitlich voneinander beabstandet gebildet und auf der anderen Hauptoberfläche der piezoelektrischen Lage 18c sind die Verbindungselektroden 22c1, 22c2 und 22c3 gebildet. Jede der Elektroden ist aus einem Elektrodenmaterial wie Gold, Silber, Aluminium, Nickel, Kupfer-Nickel-Legierung (Monel-Metall) oder dergleichen und durch eine Dünnschichttechnik, wie Aufsprühen, Aufdampfen oder dergleichen, bzw. durch Drucktechniken, in Abhängigkeit von dem verwendeten Material, gebildet.

Wird der Schwingkörper 14 aus einem ein Metall enthaltenden Schwingmaterial wie Elinvar, Eisen-Nickel-Legierungen oder dergleichen gebildet, müssen die Elektroden 20a bis 20c an den piezoelektrischen Elementen 16a bis 16c nicht gebildet werden. Dies deshalb, da der Schwingkörper 14 diese Elektroden 20a bis 20c ersetzt. In diesem Fall können die piezoelektrischen Lagen 18a bis 18c aus einem piezoelektrischen Material wie PZT, ZnO usw. durch Dünnschichttechniken wie Aufsprühen, Aufdampfen und dergleichen gebildet werden.

Bei dem Schwingkreis 10 wird beispielsweise das piezoelektrische Element 16a als Treiberselement und die verbleibenden zwei piezoelektrischen Elemente 16b und 16c als Detektorelemente verwendet. In diesem Ausführungsbeispiel ist ein Treiberanschluß 230 mit den Verbindungselektroden 22a1, 22a2 und 22a3 des piezoelektrischen Treiber-

elementes 16a verbunden. Mit den Verbindungselektroden 22b3 und 22c3 der piezoelektrischen Detektorelemente 16b und 16c, welche extrem weit von dem piezoelektrischen Treiberselement 16a entfernt sind, ist ein Rückkopplungsanschluß 232 verbunden. Mit den zwei Verbindungselektroden 22b1 und 22b2 zwischen den Verbindungselektroden des piezoelektrischen Detektorelementes 16b, die nahe zu dem piezoelektrischen Treiberselement 16a sind, ist ein Detektoranschluß 234 verbunden. Entsprechend ist mit den zwei Verbindungselektroden 22c1 und 22c2 des anderen piezoelektrischen Detektorelementes 16c ein weiterer Detektoranschluß 236 verbunden.

Durch Brechen der Kantenbereiche zwischen den Seitenflächen des Schwingkörpers 14 des Schwingkreises 10 werden die Resonanzfrequenzen auf der Treiberseite und entsprechend die Resonanzfrequenzen auf den Detektorseiten in Einklang gebracht. Das heißt, wenn der Endkantenbereich 13a, der dem piezoelektrischen Treiberselement 16a gegenüberliegt, gebrochen wird, wird die Resonanzfrequenz in senkrecht zu der Hauptoberfläche des piezoelektrischen Treiberselementes 16a liegender Richtung gesteuert, ohne die Schwingrichtung des Schwingkörpers 14 zu beeinflussen. Entsprechend wird, wenn der Endkantenbereich 13b oder 13c, die den piezoelektrischen Detektorelementen 16b oder 16c gegenüberliegen, gebrochen wird, die Resonanzfrequenz in senkrecht zu der Hauptoberfläche des piezoelektrischen Elementes 16b bzw. 16c gesteuert, ohne die Schwingrichtung des Schwingkörpers 14 zu beeinflussen. Wird der Endkantenbereich in der länglichen Mitte gebrochen, wird insbesondere die Dicke T1, T2 oder T3 gemäß Fig. 29 in Schwingrichtung verringert, woraus resultiert, daß die Resonanzfrequenz ebenfalls reduziert wird, während, wenn die länglichen Endkanten der Endkantenbereiche gebrochen werden, die Resonanzfrequenz erhöht wird.

Bei dem Schwingkreis 10 werden, wenn alle Resonanzfrequenzen in drei Richtungen senkrecht zu den Hauptoberflächen der piezoelektrischen Elemente 16a, 16b und 16c voneinander unterschiedlich sind, diese Resonanzfrequenzen durch Brechen von wenigstens zwei Endbereichen in Einklang gebracht, während, wenn die Resonanzfrequenz in einer Richtung sich von den Resonanzfrequenzen in zwei Richtungen unterscheidet, wenigstens ein Kantenbereich gebrochen wird. Dabei wird die Resonanzfrequenz auf der Treiberseite mit den jeweiligen Resonanzfrequenzen auf der Detektorseite in Einklang gebracht.

Wenn die Resonanzfrequenzen der Treiberseite mit denen der Detektorseiten übereinstimmen, sind die länglichen Mittelbereiche der Kantenbereiche des Schwingkörpers 14 vorteilhafterweise gebrochen. Werden die Mittelbereiche der Kanten des Schwingkörpers 14 zur Einstellung der Resonanzfrequenz gebrochen, soll zunächst die Kante gebrochen werden, die mit der höchsten Resonanzfrequenz übereinstimmt.

Bei dem Schwingkreis 10 ist mit dem Rückkopplungsanschluß 232 und dem Treiberanschluß 230 ein Oszillator 250 als Rückkopplungsschleife verbunden, wie in Fig. 30 gezeigt. Damit führt der Schwingkreis 10 Selbstoszillations-Antrieb durch. In diesem Fall schwingt der Schwingkörper 14 in senkrecht zu der Hauptoberfläche des piezoelektrischen Treiberselementes 16a liegender Richtung und von den piezoelektrischen Detektorelementen 16b und 16c oder den Detektoranschlüssen 234 und 236 werden die Ausgangssignale erhalten. Die Detektoranschlüsse 234 und 236 sind mit einem umkehrenden Eingangsende und einem nicht umkehrenden Eingangsende eines Differentialverstärkers 252 verbunden. An der Ausgangsseite des Differentialverstärkers 252 ist die Eingangsseite eines synchronisierenden Detektorschaltkreises 254 angeschlossen, an welchem über

einen Phasenschaltkreis 256 der vorgenannte Oszillationschaltkreis 250 angeschlossen ist. Der Phasenschaltkreis 256 wird so gesteuert, daß das Signal auf der positiven oder der negativen Seite der Ausgangsdifferenz zwischen den Detektoranschlüssen 234 und 236 von einer Ausgangsseite des synchronisierenden Detektorschaltkreises 254 erhalten werden kann. Die Ausgangsseite des synchronisierenden Detektorschaltkreises 254 ist mit der Eingangsseite eines Gleichstromverstärkers 258 verbunden, um das Signal von diesem gleichzurichten.

Im folgenden wird der Betrieb des Schwingkreises 10 im Detail beschrieben.

Zunächst wird angenommen, daß, wenn der Schwingkreis 10 nicht rotiert wird, die gegenüberliegenden Enden des Schwingkörpers 14 beispielsweise in durch den Pfeil in Fig. 31 angedeuteter Richtung bzw. entgegengesetzt zu der Seite, auf der das piezoelektrische Treiberelement 16a gebildet ist, gebogen werden. Da die Biegebedingungen der piezoelektrischen Lagen 18b des piezoelektrischen Detektorelementes 16b in Bereichen nahe zu und entfernt von dem piezoelektrischen Treiberelement 16a unterschiedlich sind, sind die erzeugten Ausgangsspannungen nicht gleich. Wenn die positive Spannung von der Verbindungselektrode 22b1, die nahe zu dem piezoelektrischen Treiberelement 16a liegt, ausgegeben wird, wird negative Spannung von der Verbindungselektrode 22b2, die von diesem entfernt liegt, ausgegeben. Die Spannungen der Verbindungselektroden 22b1 und 22b2 heben einander auf, und die von dem Detektoranschluß 234 erhaltene Ausgangsspannung ist verschlechtert. Entsprechend wird positive Spannung von der Verbindungselektrode 22c1 des anderen piezoelektrischen Detektorelementes 16c, und negative Spannung von der Verbindungselektrode 22c2 ausgegeben. Auch diese Spannungen heben einander auf, so daß die Ausgangsspannung, die von dem anderen Detektoranschluß 236 erhalten wird, ebenfalls verschlechtert ist. Wenn die gegenüberliegenden Enden des Schwingkörpers 14 in der Richtung gebogen werden, in welcher das piezoelektrische Treiberelement 16a gebildet ist, werden die Ausgangsspannungen von den Verbindungselektroden umgekehrt.

Wird der Fall in Betracht gezogen, wo der Schwingkreis 10 um seine Achse rotiert wird, finden, durch Vector-Verbindung der Vibrationsrichtung bei Nichtrotation und einer Korioliskraft in Folge Rotation, die beispielsweise in Fig. 32 gezeigten Biegeschwingungen in senkrecht zu der Fläche liegender Richtung auf der das piezoelektrische Detektorelement 16b gebildet ist, statt. Unter der Annahme, daß die gegenüberliegenden Enden des Schwingkörpers 14, wie durch Pfeil in Fig. 32 angedeutet in der Richtung gebogen werden, in welcher das piezoelektrische Detektorelement 16b gebildet ist, wird negative Spannung von den Verbindungselektroden 22b1 und 22b2 des piezoelektrischen Detektorelementes 16b, und positive Spannung von den Verbindungselektroden 22c1 und 22c2 des piezoelektrischen Detektorelementes 16c ausgegeben. Damit wird von einem Detektoranschluß 234 ein hoher negativer Spannungswert, und von dem anderen Detektoranschluß 236 ein hoher positiver Spannungswert ausgegeben. Werden die entgegengesetzten Enden des Schwingkörpers 14 umgekehrt zu der Fläche, auf welcher das piezoelektrische Detektorelement 16b gebildet ist, gebogen, werden die Ausgangsspannungssignale der Verbindungselektroden umgekehrt.

Da bei dem Schwingkreis 10 die Resonanzfrequenz auf der Treiber- und Detektorseite übereinstimmen, werden sehr effizient die Ausgangsspannungen von dem piezoelektrischen Detektorelementen 16b und 16c oder den Detektoranschlüssen 234 und 236 erhalten, woraus resultiert, daß die Drehwinkelgeschwindigkeit sehr effektiv ermittelt werden

kann. Die Frequenzcharakteristika des Schwingkreises 10 vor Übereinstimmung der Resonanzfrequenzen auf der Treiber- und Detektorseite sind in Fig. 33 gezeigt, während die bei Übereinstimmung der Resonanzfrequenzen in Fig. 34 gezeigt sind.

Weiterhin ist bei dem Schwingkreis 10 die Ausgangsspannungsdifferenz bei Nichtrotation und Rotation groß, woraus ein gutes S/N-Verhältnis resultiert. Da die Ausgangsspannungsdifferenz zwischen den Detektoranschlüssen 234 und 236 erfaßt wird, wird die Ausgangsspannung bei Nichtrotation etwas kleiner und die bei Rotation etwas größer.

Die Beziehung zwischen der Drehwinkelgeschwindigkeit (DEG/SEC) und der Ausgangsspannung (V) bei erregtem Schwingkreis 10 repräsentierende Ausgangsspannungsscharakteristika sind in Fig. 35 gezeigt, die die Beziehung zwischen dem Kippwinkel (Grad) und der Ausgangsspannung (V) repräsentierenden ist in Fig. 36 gezeigt.

Mit für zwei Stunden bei 600°C spannungsfrei geglühtem Elinvar als Material für den Schwingkörper 14 in dem Schwingkreis 10, wie in Fig. 37 gezeigt, wurden gute Frequenztemperaturcharakteristika bei einem niedrigen Frequenzvariationsfaktor (%) gegenüber Temperatur (°C) Variationen erzielt.

Gemäß Fig. 38 sind im Vergleich zu dem in Fig. 28 und 29 gezeigtem Ausführungsbeispiel auf den anderen Hauptoberflächen der piezoelektrischen Lagen 18a, 18b und 18c Verbindungselektroden 22a, 22b und 22c gebildet. Bei diesem Ausführungsbeispiel ist der Treiberanschluß 230 mit einer Verbindungselektrode 22a und die Detektoranschlüsse 234 und 236 mit den Verbindungselektroden 22b und 22c verbunden. Die Ausgänge der Detektoranschlüsse 234 und 236 werden zu dem Treiberanschluß 230 in Mischform zur Eigenoszillation rückgekoppelt.

Auch in diesem Ausführungsbeispiel werden die Kantenbereiche 13a, 13b oder 13c des Schwingkörpers 14 zur Abstimmung der Resonanzfrequenzen auf der Treiber- und Detektorseite abgeschabt, so daß die Drehwinkelgeschwindigkeit effektiv bestimmt werden kann.

Bei dem in Fig. 39 gezeigten Ausführungsbeispiel ist ein Schwingkörper 14 als gleichseitiger vierflächiger prismaförmiger Körper ausgebildet, und auf vier Seiten sind piezoelektrische Elemente 16a, 16b, 16c und 16d gebildet. In diesem Ausführungsbeispiel werden zwei benachbarte piezoelektrische Elemente 16a und 16b als Treiber und die verbleibenden zwei piezoelektrischen Elemente 16c und 16d als Detektoren verwendet. Somit sind Treiberanschlüsse 230a und 230b mit den piezoelektrischen Treiberelementen 16a und 16b verbunden, sowie Detektoranschlüsse 234 und 236 mit den piezoelektrischen Detektorelementen 16c und 16d. Auch in diesem Ausführungsbeispiel werden die Kantenbereiche zwischen den Seitenflächen des Schwingkörpers 14 gebrochen, um die Resonanzfrequenzen auf der Treiber- und Detektorseite in Übereinstimmung zu bringen. In diesem Fall kann die Resonanzfrequenz auf der Treiberseite weitestgehend gesteuert werden, ohne die Schwingrichtung des Schwingkörpers 14 zu beeinflussen, in dem der Kantenbereich 13a zwischen den Seitenflächen, auf denen die piezoelektrischen Treiberelemente 16a und 16b gebildet sind, oder des Kantenbereiches 13c zwischen den Seitenflächen, auf denen die piezoelektrischen Detektorelemente 16c und 16d gebildet sind gebrochen werden, wobei die Dicke P und zusätzliche Masse des Schwingkörpers 14 in Abhängigkeit von der Resonanzfrequenz auf der Treiberseite geändert werden kann. Durch Abschaben der anderen Kantenbereiche 13b oder 13d kann die Resonanzfrequenz auf der Detektorseite ohne Beeinflussung der Schwingrichtung und der Resonanzfrequenz auf der Treiberseite gesteuert werden.

Somit wird der Ausgang von den piezoelektrischen Detektorelementen effektiv erhalten und die Drehwinkelgeschwindigkeit kann entsprechend ermittelt werden.

Obwohl in den Ausführungsbeispielen gemäß Fig. 28 bis 39 der Schwingkörper als gleichseitiges dreiflächiges oder vierflächiges Prisma gebildet wurde, kann er als anderes vierflächiges Prisma ausgestaltet werden. Dabei sollten die piezoelektrischen Elemente jeweils auf wenigstens drei oder mehr Seitenflächen des Schwingkörpers angeordnet werden. Die piezoelektrischen Elemente, die auf den Seitenflächen, die nicht parallel zueinander sind, gebildet werden, sollten entweder als Treiber oder Detektoren verwendet werden, und die anderen piezoelektrischen Elemente jeweils für das andere als Treiber oder Detektoren. Die Resonanzfrequenzen auf der Treiber- und Detektorseite werden abgestimmt durch Abschaben der Kantenbereiche zwischen den Seitenflächen des Schwingkörpers.

Wenn die Kantenbereiche zwischen den Seitenflächen des Schwingkörpers abgeschabt werden, um die Resonanzfrequenzen auf der Treiber- und Detektorseite abzustimmen, weicht die Schwingrichtung des Schwingkörpers nicht ab, da die piezoelektrischen Elemente, die auf nicht zueinander parallel liegenden Seitenflächen angeordnet sind, entweder als Treiber oder Detektoren verwendet werden, so daß Detektorfehler verhindert werden. Somit wird effizient ein Ausgang von dem piezoelektrischen Detektorelement erhalten und damit die Drehwinkelgeschwindigkeit des Schwingkreises.

Bei dem in Fig. 40 gezeigten Ausführungsbeispiel werden in dem Schwingungserreger beliebige zwei der piezoelektrischen Elemente 16a bis 16c als Treiber und das verbleibende zur Rückkopplung verwendet. Die piezoelektrischen Elemente 16a und 16b werden beispielsweise als Treiber und das andere piezoelektrische Element 16c zur Rückkopplung verwendet. Eine Elektrode 22c des für die Rückkopplung verwendeten piezoelektrischen Elementes 16c ist mit einer Eingangsseite eines Oszillators 272 über einen Rückkopplungsanschluß 270 verbunden. Eine Ausgangsseite des Oszillators 272 ist mit einem Treiberanschluß 274 verbunden, welcher weiterhin mit einer Elektrode 22a des piezoelektrischen Treiberelementes 16a über einen Festwiderstand 276a, sowie mit einer Elektrode 22b des piezoelektrischen Treiberelementes 16b über einen Festwiderstand 276b verbunden ist. Somit wird der Ausgang des piezoelektrischen Rückkopplungselementes 16c zu den zwei piezoelektrischen Treiberelementen 16a und 16b über den Oszillator 272 usw. rückgekoppelt, so daß der Schwingungserreger 12 Eigenoszillation durchführt. In diesem Fall schwingt der Schwingkörper 14 des Schwingungserregers 12 in der auf zwei Treiberrichtungen vermischten Richtung durch die zwei piezoelektrischen Treiberelemente 16a und 16b. Bei diesem Ausführungsbeispiel sind die Amplituden des Schwingkörpers 14 größer im Vergleich zu dem Fall, wo ein piezoelektrisches Treiberelement verwendet wird. Weiterhin ist die Schwinghöhe des Schwingkörpers 14 stabilisiert gegen mechanische Variationen wie Variationen der Zeit, der Temperatur, des Befestigungswinkels oder der Gravität (Position des Zentrums der Gravität). Mit den Elektroden 22a und 22b auf der Eingangsseite der piezoelektrischen Treiberelemente 16a und 16b sind Detektorenanschlüsse 278a und 278b verbunden. Die Detektorenanschlüsse 278a und 278b sind so ausgelegt, daß sie Widerstandsveränderungen der piezoelektrischen Treiberelemente 16a und 16b erfassen, die in Folge der Drehwinkelgeschwindigkeit des Schwingkreises 10 eintreten. Die Detektorenanschlüsse 278a und 278b sind jeweils mit zwei Eingangsseiten des Differentialverstärkers 280 verbunden. In dem Differentialverstärker 280 werden die Widerstandsveränderungen der

piezoelektrischen Treiberelemente 16a und 16b als Spannungsdifferenzen zwischen den Elektroden 22a und 22b festgestellt. Somit kann die Drehwinkelgeschwindigkeit des Schwingkreises 10 aus dem Ausgang des Differentialverstärkers 280 ermittelt werden.

Bei dem Schwingkreis 10 wird, da ein Schwingungserreger 12 mit hohen Amplituden verwendet wird, die Sensibilität der Erfassung der Drehwinkelgeschwindigkeit verbessert. Da die Schwinghöhe des Schwingkörpers 14 gegen mechanische Veränderung stabilisiert ist, wird auch die Drehwinkelgeschwindigkeit stabil ermittelbar. Da bei dem Schwingkreis 10 die Drehwinkelgeschwindigkeit gemessen wird, in dem die Spannungsdifferenz zwischen den Elektroden 22a und 22b der piezoelektrischen Treiberelemente 16a und 16b gemessen wird, das heißt die Spannungsdifferenz der Eingangsseite der piezoelektrischen Treiberelemente ohne die Verwendung eines gesonderten piezoelektrischen Detektorelementes, kann die Drehwinkelgeschwindigkeit exakt gemessen werden, auch wenn Charakteristikveränderungen, Veränderungen der Zeit, der Temperatur und dergleichen stattfinden, da die Treiberanspannungen stabilisiert sind, ohne von der Charakteristika der piezoelektrischen Elemente oder deren Resonanzfrequenz-Abweichungen beeinflusst zu sein.

Bei dem in Fig. 41 gezeigten Ausführungsbeispiel ist der Schwingkörper 14 als gleichseitiges vierflächiges Prisma ausgebildet, und piezoelektrische Elemente 16a, 16b, 16c und 16d sind jeweils auf vier Seitenflächen des Schwingkörpers 14 angeordnet. Die zwei benachbarten piezoelektrischen Elemente 16a und 16b werden als Treiber, und die verbleibenden zwei piezoelektrischen Elemente 16c und 16d zur Rückkopplung verwendet. Somit werden die zwei piezoelektrischen Rückkopplungselemente 16c und 16d jeweils mit zwei festen Anschlüssen 282a und 282b eines Stellwiderstandes 282 verbunden, dessen Stellanschluß 282c mit der Eingangsseite eines Oszillators 272 über einen Rückkopplungsanschluß 270 verbunden ist. Somit werden bei diesem Ausführungsbeispiel Ausgänge von den zwei piezoelektrischen Rückkopplungselementen 16c und 16d in Mischform auf die zwei piezoelektrischen Treiberelemente 16a und 16b rückgekoppelt.

Anstelle der in Fig. 40 und 41 gezeigten Schwingungserreger kann der Schwingkörper 14 auch in einer gleichschenkligen dreiflächigen Prismaform ausgebildet sein. In diesem Fall werden piezoelektrische Elemente, die auf den beiden identischen Seitenflächen gebildet sind, als Treiberelement, und ein auf der anderen Seite ausgebildetes piezoelektrisches Element zur Rückkopplung verwendet. Der Schwingkörper 14 kann auch die Form eines mehrflächigen Prismas aufweisen. In diesem Fall werden piezoelektrische Elemente auf wenigstens drei Seitenflächen des Schwingkörpers gebildet, wobei zwei oder mehr piezoelektrische Elemente zum Treiben und eines oder mehr verbleibende piezoelektrische Elemente zur Rückkopplung verwendet werden. Bei einem derartigen Schwingungserreger schwingt der Schwingkörper in einer aus den Treiberrichtungen gemischten Richtung, wenn Ausgänge von einem oder mehreren piezoelektrischen Rückkopplungselementen auf zwei oder mehrere piezoelektrische Treiberelemente rückgekoppelt werden. Da der Schwingkörper durch zwei oder mehr piezoelektrische Treiberelemente in Schwingung versetzt wird, ist die Amplitude des Schwingkörpers größer im Vergleich mit dem Fall, wo der Schwingkörper durch ein piezoelektrisches Treiberelement getrieben wird. Entsprechend kann ein hochsensibler Schwingkreis, der kaum durch äußere unnötige Schwingungen beeinflussbar ist, erreicht werden. Da der Schwingkörper von zwei Richtungen getrieben wird und in der aus den Treiberrichtungen gemischten Rich-

tung schwingt, kann eine stabile Schwinghöhe erreicht werden, die stabil gegen mechanische Statusveränderungen wie Veränderungen der Zeit, der Temperatur, des Befestigungswinkels oder Schwerkraft (Zentrum der Schwerkraft) des Schwingkörpers und seiner Lagerelemente oder Lagerbasis sind, im Vergleich mit dem Fall, wo der Schwingkörper durch ein piezoelektrisches Treiberelement getrieben wird, dem sogenannten Einwegtreiberfall. Entsprechend kann ein derartiger Schwingungserreger in vorteilhafter Weise in einer Vorrichtung eingesetzt werden, deren Grundschwingungshöhe stabil zur Erfassung feiner Schwingungen sein muß, wie beispielsweise einem Schwingkreis.

In dem in Fig. 42 gezeigten Ausführungsbeispiel hat ein Schwingkörper 14 die Form eines gleichseitigen dreiflächigen Prismas, und auf zwei Seitenflächen desselben sind jeweils piezoelektrische Elemente 16a und 16b gebildet. Ein piezoelektrisches Element 16a ist als Treiber und das andere piezoelektrische Element 16b zur Rückkopplung verwendet. Entsprechend ist ein Detektoranschluß 278 an einer Elektrode 22a auf der Eingangsseite des piezoelektrischen Treiberelementes 16a zur Erfassung der Drehwinkelgeschwindigkeit verbunden. Bei diesem Ausführungsbeispiel ist eine Elektrode 22b des piezoelektrischen Rückkopplungselementes 16b mit der Eingangsseite eines Oszillators 272 verbunden, dessen Ausgangsseite mit der Elektrode 22a des piezoelektrischen Treiberelementes 16a über einen Festwiderstand 276 verbunden ist.

In dem in Fig. 43 gezeigten Ausführungsbeispiel ist ein Schwingkörper 14 in Form eines gleichseitigen vierflächigen Prismas gebildet und auf zwei gegenüberliegenden Seitenflächen sind piezoelektrische Elemente 16a und 16b gebildet. Ein piezoelektrisches Element 16a wird als Treiber und das andere piezoelektrische Element 16b zur Rückkopplung verwendet. Somit ist auch in diesem Ausführungsbeispiel, genauso wie in dem in Fig. 42 gezeigten Ausführungsbeispiel, an einer Elektrode 22a an der Eingangsseite des piezoelektrischen Treiberelementes 16a ein Detektoranschluß 278 zur Erfassung der Drehwinkelgeschwindigkeit angeschlossen, und zwischen dem piezoelektrischen Rückkopplungselement 16b und dem piezoelektrischen Treiberelement 16a ein Oszillator 272 und ein Festwiderstand 276 in Reihe zwischengeschaltet. Obwohl in den in Fig. 40 bis 43 gezeigten Ausführungsbeispielen der Schwingkörper 14 eine gleichseitige dreiflächige Prismaform oder eine gleichseitige vierflächige Prismaform hat, kann es die Form eines mehrflächigen Prismas haben. Auch in diesem Fall kann, wenn ein Detektoranschluß mit der Eingangsseite eines piezoelektrischen Treiberelementes, welches auf der Seitenfläche des Schwingkörpers gebildet ist, verbunden ist, der Ausgang entsprechend der Drehwinkelgeschwindigkeit erhalten werden, ohne durch ein piezoelektrisches Element zu laufen, und die Drehwinkelgeschwindigkeit kann exakt und ohne durch die Charakteristika des piezoelektrischen Elementes beeinflusst zu sein ermittelt werden, auch im Fall auftretender Charakteristika-Abweichungen wie zeitliche Veränderungen, Temperaturveränderungen und dergleichen im piezoelektrischen Element.

In dem in Fig. 44 gezeigten Ausführungsbeispiel sind bei dem Schwingkreis 10 zwei Elektroden 22a und 22b von zwei piezoelektrischen Treiberelementen 16a und 16b mit festen Anschlüssen 284a und 284b eines Stellwiderstandes 284 verbunden. Mit einem Stellanschluß 284c des Stellwiderstandes 284 ist ein Treiberanschluß 274 verbunden. Wird der Schwingkreis 10 getrieben kann von den Detektoranschlüssen 278a und 278b die der Drehwinkelgeschwindigkeit entsprechende Ausgangsspannung erhalten werden. Wird der Stellwiderstand 284 so gesteuert, daß das Produkt

$C1 \times R1$  des elektrostatischen Kapazitätswertes  $C1$  des piezoelektrischen Treiberelementes 16a und des Widerstandsbeiwertes  $R1$  eines festen Anschlusses 284a zu dem Stellanschluß 284c des Stellwiderstandes 284, und das Produkt  $C2 \times R2$  des elektrostatischen Kapazitätswertes  $C2$  des piezoelektrischen Treiberelementes 16b und des Widerstandsbeiwertes  $R2$  des anderen festen Anschlusses 284b zu dem Stellanschluß 284c des Stellwiderstandes 284 im wesentlichen gleich sind, kann die Ausgangsspannung von den Detektoranschlüssen 278a und 278b ohne von der Verteilung der elektrostatischen Kapazitätswerte der piezoelektrischen Treiberelemente 16a und 16b und den damit verbundenen Abweichungen der Resonanzfrequenzen beeinflusst zu sein, erhalten werden.

Bei dem Schwingkreis 10 sollten die Ausgangsspannungen von den Detektoranschlüssen 278a und 278b in Phase gesteuert werden, auch wenn die Verteilung der elektrostatischen Kapazitätswerte oder die damit verbundenen Abweichungen der Resonanzfrequenzen in dem piezoelektrischen Element auftreten. Entsprechend können die Spannungsdifferenzen zwischen den Detektoranschlüssen 278a und 278b oder der Ausgang des Differentialverstärkers 280 bei Stillstand (bei Nichtrotation) zu Null werden. Bei Rotation wird ein positives oder negatives Signal in Abhängigkeit der Drehwinkelgeschwindigkeit erhalten, in dem die Spannungsdifferenz zwischen den Detektoranschlüssen 278a und 278b durch einen synchronisierenden Detektorschaltkreis erfaßt wird. Somit kann bei dem Schwingkreis die Drehwinkelgeschwindigkeit exakt gemessen werden.

In dem in Fig. 45 gezeigten Ausführungsbeispiel ist im Vergleich zu dem in Fig. 44 gezeigten Ausführungsbeispiel, obwohl die Ausgestaltung des Schwingkörpers 14, der piezoelektrischen Elemente 16a bis 16c und eines variablen Widerstandes 284 gleich sind, der einzige Unterschied, daß zwei piezoelektrische Elemente 16a und 16b zur Rückkopplung und das verbleibende piezoelektrische Element 16c als Treiber verwendet werden.

Somit ist bei diesem Ausführungsbeispiel ein Treiberanschluß 274 mit einer Elektrode 22c des piezoelektrischen Elementes 16c verbunden. Ein Rückkopplungsanschluß 270 ist mit einem Stellanschluß 284c des Stellwiderstandes 284 verbunden. Da in diesem Ausführungsbeispiel die der Drehwinkelgeschwindigkeit entsprechende Ausgangsspannung von den piezoelektrischen Rückkopplungselementen 16a und 16b erhalten wird, sind mit Elektroden 22a und 22b der piezoelektrischen Elemente 16a und 16b Detektoranschlüsse 278a und 278b verbunden. Wenn der Stellwiderstand 284 so gesteuert wird, daß das Produkt  $C1 \times R1$  des elektrostatischen Kapazitätswertes  $C1$  des piezoelektrischen Elementes 16a und der Widerstandsbeiwert  $R1$  eines festen Anschlusses 284a zu dem Stellanschluß 284c des Stellwiderstandes 284, und das Produkt  $C2 \times R2$  des elektrostatischen Kapazitätswertes  $C2$  des piezoelektrischen Elementes 16b und des Widerstandsbeiwertes  $R2$  von dem anderen festen Anschluß 284b zu dem Stellanschluß 284c des Stellwiderstandes 284 im wesentlichen gleich sind, kann von den Detektoranschlüssen 278a und 278b die Ausgangsspannung ohne von der Verteilung der elektrostatischen Kapazitätswerte der piezoelektrischen Elemente 16a und 16b und der damit verbundenen Abweichungen der Resonanzfrequenzen beeinflusst zu sein, erhalten werden.

In dem in Fig. 46 gezeigten Ausführungsbeispiel ist ein Schwingkörper 14 in Form eines gleichseitigen vierflächigen Prismas ausgebildet, und auf vier Seitenflächen desselben sind piezoelektrische Elemente 16a, 16b, 16c und 16d gebildet. Die zwei benachbarten piezoelektrischen Elemente 16a und 16b werden zum Treiben, und die verbleibenden zwei piezoelektrischen Elemente 16c und 16d zur Rück-

kopplung verwendet. Entsprechend sind feste Anschlüsse 284a und 284b eines Stellwiderstandes 284 mit den piezoelektrischen Treiberelementen 16a und 16b, und ein Stellanschluß 284c des Stellwiderstandes 284 mit einem Treiberanschluß 274 verbunden. Entsprechend sind zwei feste Anschlüsse 286a und 286b eines einzelnen Stellwiderstandes 286 mit den piezoelektrischen Rückkopplungselementen 16c und 16d verbunden, und mit dem Stellanschluß 286c ist ein Rückkopplungsanschluß 270 verbunden. Auch bei diesem Ausführungsbeispiel wird, genau wie bei dem in Fig. 44 und 45 gezeigten Ausführungsbeispiel, ein Oszillator 272 mit dem Rückkopplungsanschluß 270 und dem Treiberanschluß 274 verbunden. Somit führt der Schwingkreis 10 ebenfalls Eigenoszillation durch. In diesem Fall werden die der Drehwinkelgeschwindigkeit entsprechenden Ausgangsspannungen in den piezoelektrischen Treiberelementen 16a und 16b erzeugt. Somit sind in diesem Ausführungsbeispiel die Detektoranschlüsse 278a und 278b mit den piezoelektrischen Treiberelementen 16a und 16b verbunden. Die Detektoranschlüsse 278a und 278b sind mit der Eingangsseite eines Differentialverstärkers 280 verbunden. Genau wie bei dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 44 können Ausgangsspannungen von den Detektoranschlüssen 278a und 278b erhalten werden, in dem der Stellwiderstand 284, der mit den piezoelektrischen Treiberelementen verbunden ist, gesteuert wird.

Da in diesem Ausführungsbeispiel die der Drehwinkelgeschwindigkeit entsprechenden Ausgangsspannungen ebenso von den piezoelektrischen Rückkopplungselementen 16c und 16d erzeugt werden, können die Detektoranschlüsse 278a und 278b jeweils mit den piezoelektrischen Rückkopplungselementen 16c und 16d verbunden sein. In diesem Fall werden durch Steuerung des einzelnen Stellwiderstandes 286 Ausgangsspannungen von den Detektoranschlüssen 278a und 278b erhalten.

Obwohl in den in Fig. 44 bis 46 gezeigten Ausführungsbeispielen der Schwingkörper eine gleichseitige dreiflächige oder gleichseitige vierflächige Prismaform aufweist, kann er eine vielflächige Prismaform haben. In diesem Fall werden piezoelektrische Elemente auf wenigstens drei Seitenflächen des Schwingkörpers gebildet, und jeweils zwei feste Anschlüsse des Stellwiderstandes werden mit zwei piezoelektrischen Elementen verbunden, so daß zwei Detektoranschlüsse jeweils mit den zwei piezoelektrischen Elementen verbunden sind und der Stellanschluß des Stellwiderstandes entweder zum Treiben oder zur Rückkopplung verwendet wird.

Wird ein Treibersignal an den Stellanschluß des Stellwiderstandes angelegt, um das Treibersignal an zwei piezoelektrischen Elementen, die mit den zwei festen Anschlüssen des Stellwiderstandes verbunden sind, anzulegen, oder das Ausgangssignal von diesen zwei piezoelektrischen Elementen wird an die anderen piezoelektrischen Elemente über die Stellanschlüsse des Stellwiderstandes angelegt, wird der Schwingkreis angetrieben, und die der Drehwinkelgeschwindigkeit entsprechenden Ausgangsspannungen von den zwei Detektoranschlüssen erhalten. Die Ausgangsspannungen, die von den zwei Detektoranschlüssen erhalten werden, sind in Phase, wenn der Stellwiderstand so gesteuert wird, daß das Produkt  $C1 \times R1$  des elektrostatischen Kapazitätswertes  $C1$  von einem der beiden piezoelektrischen Elemente und der Widerstandswert  $R1$  von einem festen Anschluß, der mit dem piezoelektrischen Element verbunden ist, zu dem Stellanschluß, und daß Produkt  $C2 \times R2$  des elektrostatischen Kapazitätswertes  $C2$  des anderen piezoelektrischen Elementes und des Widerstandsbeiwertes  $R2$  des anderen festen Anschlusses, der mit dem piezoelektrischen Element verbunden ist, zu dem Stellanschluß im we-

sentlichen gleich sind. Da die Ausgangsspannungen von den zwei Detektorelementen in Phase gebracht werden können, ohne von der Verteilung der elektrostatischen Kapazitätswerte der piezoelektrischen Elemente und der damit verbundenen Abweichungen der Resonanzfrequenzen beeinflusst zu sein, kann die Drehwinkelgeschwindigkeit exakt gemessen werden.

In dem in Fig. 47 gezeigten Ausführungsbeispiel ist der Schwingungserreger 12 in Form eines gleichseitigen dreiflächigen prismaförmigen Schwingkörpers 14 ausgebildet.

Piezoelektrische Elemente 16a, 16b und 16c sind jeweils auf dem Schwingkörper 14 in der Mitte der drei Seitenflächen gebildet. Mit Elektroden 22a, 22b und 22c der piezoelektrischen Elemente sind drei Anschlüsse 300a, 300b und 300c verbunden. Die Elektroden 22a und 22b der piezoelektrischen Elemente 16a und 16b sind mit den gegenüberliegenden Seiten 302a und 302b eines Festwiderstandes 302 verbunden. Der Festwiderstand 302 ist so ausgelegt, daß er die Charakteristika zwischen den piezoelektrischen Elementen 16a und 16b ausgleicht. Das heißt, daß in einem Schwingungserreger, mit welchem ein derartiger Widerstand nicht verbunden ist, die Charakteristika zwischen den piezoelektrischen Elementen durch Verteilung der elektrostatischen Kapazitätswerte der piezoelektrischen Elemente und der damit verbundenen Abweichungen der Resonanzfrequenzen unausgeglichen sind, jedoch sind in diesem Ausführungsbeispiel die Charakteristika zwischen den piezoelektrischen Elementen 16a und 16b bestens ausgeglichen.

Die zwei piezoelektrischen Elemente 16a und 16b mit dem festen Widerstand 302 werden entweder als Treiber oder Detektoren verwendet und das andere piezoelektrische Element für das jeweils andere als Treiber oder Detektor. Wenn ein Treibersignal an die Anschlüsse 300a und 300b oder die piezoelektrischen Elemente 16a und 16b angelegt wird, wird ein stabiles Ausgangssignal von dem piezoelektrischen Element 16c oder dem Anschluß 300c erhalten. Anders herum, wenn das Treibersignal an den Anschluß 300c des piezoelektrischen Elementes 16c angelegt wird, werden stabile Ausgangssignale von den piezoelektrischen Elementen 16a und 16b oder den Anschlüssen 300a und 300b erhalten.

Um den Schwingungserreger 12 in einem Schwingkreis zu verwenden, sollte das Treibersignal an das piezoelektrische Element wie vorbeschrieben angelegt werden, um die Drehwinkelgeschwindigkeit durch das von dem anderen piezoelektrischen Element unter diesen Bedingungen abgegebenen Ausgangssignal zu erhalten. Wird das Ausgangssignal von den zwei piezoelektrischen Elementen 16a und 16b erhalten, kann die Drehwinkelgeschwindigkeit von deren Ausgangssignaldifferenz, beispielsweise durch einen Differentialverstärker, erhalten werden.

In dem in Fig. 48 gezeigten Ausführungsbeispiel weist ein Schwingkörper 14 die Form eines gleichseitigen vierflächigen Prismas auf, und auf vier Seitenflächen desselben sind piezoelektrische Elemente 16a, 16b, 16c und 16d gebildet. Mit den piezoelektrischen Elementen 16a, 16b, 16c und 16d sind Anschlüsse 300a, 300b, 300c und 300d verbunden.

Mit zwei benachbarten piezoelektrischen Elementen 16a und 16b werden die entgegengesetzten Enden 302a und 302b eines Festwiderstandes 302 verbunden, um den Charakteristikaausgleich dazwischen zu verbessern. Somit werden durch den festen Widerstand 302 die Charakteristika zwischen den piezoelektrischen Elementen 16a und 16b gut ausgeglichen.

Entsprechend werden mit den anderen benachbarten piezoelektrischen Elementen 16c und 16d die entgegengesetzten Enden 304a und 304b eines weiteren Festwiderstandes 304 verbunden, und der Charakteristikausgleich zwischen



den piezoelektrischen Elementen 16c und 16d wird durch diesen Festwiderstand 304 verbessert.

Bei dem Schwingungserreger 12 werden die zwei piezoelektrischen Elemente 16a und 16b, die den Festwiderstand 302 aufweisen, entweder als Treiber oder als Detektoren verwendet, und die piezoelektrischen Elemente 16c und 16d, die den anderen Festwiderstand 304 aufweisen, werden jeweils für das andere als Treiber oder Detektoren verwendet.

Wenn ein Treibersignal an die piezoelektrischen Elemente 16a und 16b angelegt wird, werden stabile Ausgangssignale von den piezoelektrischen Elementen 16c und 16d ausgegeben, und umgekehrt, wenn das Treibersignal an die piezoelektrischen Elemente 16c und 16d angelegt wird, werden stabile Ausgangssignale von den piezoelektrischen Elementen 16a und 16b erhalten. Entsprechend kann der Schwingungserreger 12 vorteilhaft in einer Vorrichtung verwendet werden, die feine Schwingungen des Schwingungserregers verwendet, wie beispielsweise einen Schwingkreis.

In dem in Fig. 49 gezeigten Ausführungsbeispiel weist ein Schwingkörper 14 die Form eines gleichseitigen achtfächigen Prismas auf, und an drei Seitenflächen desselben, die nicht benachbart sind, sind piezoelektrische Elemente 16a bis 16c gebildet. Mit den piezoelektrischen Elementen 16a bis 16c sind Anschlüsse 300a bis 300c verbunden. Mit den piezoelektrischen Elementen 16a und 16b sind die gegenüberliegenden Enden 302a und 302b eines Festwiderstandes 302 verbunden. Genau wie in dem in Fig. 47 gezeigten Ausführungsbeispiel werden die zwei piezoelektrischen Elemente 16a und 16b entweder als Treiber oder Detektoren verwendet, und daß andere piezoelektrische Element 16c für das jeweils andere als Treiber oder Detektor. Da der Charakteristikausgleich zwischen den zwei piezoelektrischen Elementen 16a und 16b verbessert ist, kann dieses Ausführungsbeispiel in vorteilhafter Weise in einer Vorrichtung wie einem Schwingkreis verwendet werden.

Obwohl in den in Fig. 47 bis 49 gezeigten Ausführungsbeispielen der Schwingkörper 14 eine gleichseitige dreifächige, eine gleichseitige vierfächige oder eine gleichseitige achtfächige Prismenform hat, kann es auch die Form eines gleichschenkligen dreifächigen Prismas haben. In diesem Fall wird der Widerstand mit den piezoelektrischen Elementen verbunden, die auf den zwei identischen Seitenflächen des Schwingkörpers 14 angeordnet sind, und diese piezoelektrischen Elemente können entweder als Treiber oder als Detektoren verwendet werden. Der Schwingkörper 14 kann auch die Form eines vielseitigen Prismas haben. In diesem Fall sollten piezoelektrische Elemente wenigstens auf drei Seitenflächen des Schwingkörpers gebildet werden. Ein Widerstand kann zwischen den zwei piezoelektrischen Elementen angeordnet werden, die entweder als Treiber oder als Detektoren verwendet werden, und das andere piezoelektrische Element kann für das jeweils andere als Treiber oder Detektor verwendet werden. Durch den Widerstand wird bei dieser Anordnung der Charakteristikausgleich zwischen den zwei piezoelektrischen Elementen verbessert. Weiterhin weist ein derartiger Schwingungserreger stabile Charakteristika auf ohne von der Streuung der elektrostatischen Kapazitätswerte der zwei piezoelektrischen Elemente, die als Treiber oder Detektoren verwendet werden, und den damit verbundenen Resonanzfrequenz-Verschiebungen beeinflusst zu sein.

Der Schwingungserreger ist in vorteilhafter Weise in einer Vorrichtung zu verwenden, die feine Schwingungen des Schwingungserregers verwendet, wie beispielsweise einem Schwingkreis. Beispielsweise kann eine Drehwinkelgeschwindigkeit exakt gemessen werden, wenn der Schwin-

gungserreger in einem Schwingkreis verwendet wird.

#### Patentansprüche

##### 1. Schwingkreis umfassend:

einen stabförmigen schwingfähigen Körper (14); eine Treibereinrichtung (16a), um den schwingfähigen Körper (14) in einem Biegemodus in eine Schwingungsrichtung in Schwingung zu versetzen, und zwei Elektroden (20b, 20c), die mit dem schwingfähigen Körper (14) verbunden sind, so daß die zwei Elektroden (20b, 20c) auf beiden Seiten einer gedachten Ebene angeordnet sind, die eine Achse des schwingfähigen Körpers (14) und die Schwingungsrichtung des schwingfähigen Körpers (14) enthält, wenn keine Drehwinkelgeschwindigkeit auf den schwingfähigen Körper (14) ausgeübt wird, und die Flächen der beiden Elektroden (20b, 20c) weder parallel noch senkrecht zu einer Richtung einer Corioliskraft sind, welche auftritt, wenn eine Drehwinkelgeschwindigkeit auf den schwingfähigen Körper (14) ausgeübt wird, wobei die zwei Elektroden (20b, 20c) zum Detektieren der Richtung der Schwingung des schwingfähigen Körpers (14) aufgrund des piezoelektrischen Effekts elektrische Signale mit unterschiedlichem Pegel ausgeben.

2. Schwingkreis nach Anspruch 1, worin die Treibereinrichtung einen Oszillator (50) umfaßt.

3. Schwingkreis nach Anspruch 1, welcher weiterhin einen Differentialverstärker (60), der mit mindestens einer der Elektroden verbunden ist, umfaßt.

4. Schwingkreis nach Anspruch 3, worin der Differentialverstärker (60) einen Operationsverstärker (68) beinhaltet, der einen invertierenden Eingangsanschluß hat, wobei wenigstens der invertierende Eingangsanschluß über einen Widerstand geerdet ist.

5. Schwingkreis (10) nach Anspruch 3, welcher weiterhin umfaßt:

einen synchronisierenden Detektionsschaltkreis (90), der mit dem Differentialverstärker (60) verbunden ist, und

einen Glättungsschaltkreis (92), der mit dem synchronisierenden Detektorschaltkreis (90) verbunden ist.

6. Schwingkreis (10) nach Anspruch 1, worin die Treibereinrichtung eine Elektrode beinhaltet, die mit dem schwingfähigen Körper verbunden ist.

7. Schwingkreis (10) nach Anspruch 1, worin der schwingfähige Körper einen vieleckigen Querschnitt hat.

8. Schwingkreis nach Anspruch 1, worin der schwingfähige Körper einen dreieckigen Querschnitt hat.

9. Schwingkreis nach Anspruch 1, worin der schwingfähige Körper einen vierseitigen Querschnitt hat.

10. Schwingkreis nach Anspruch 1, welcher weiterhin umfaßt: ein Lagerelement, das mit einem Bereich nahe eines Knotenpunktes der Schwingung des schwingfähigen Körpers verbunden ist, worin das Lagerelement mit einem Lagerungsträger fixiert ist, wobei der Lagerungsträger auf einer Lagerbasis über einen Schwingungsdämpfer fixiert ist.

11. Schwingkreis nach Anspruch 10, worin der Lagerungsträger aufgeteilt auf der Lagerbasis über dem Schwingungsdämpfer gebildet ist.

12. Schwingkreis nach Anspruch 3, worin die Treibereinrichtung eine Elektrode beinhaltet, mit dem schwingfähigen Körper (14) verbunden ist.

13. Schwingkreis nach Anspruch 3, worin die Trei-

bereinrichtung die zwei Elektroden beinhaltet.

14. Schwingkreis nach Anspruch 9, Worin die Treibereinrichtung die zwei Elektroden beinhaltet und weiterhin einen Differentialverstärker umfaßt, der mit den Elektroden verbunden ist.

5

---

Hierzu 31 Seite(n) Zeichnungen

---

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

FIG. 1

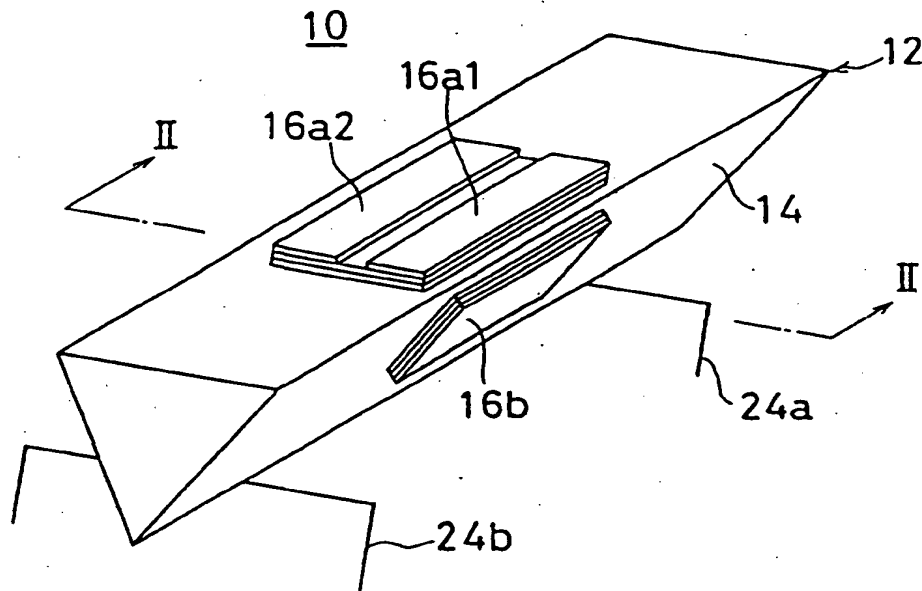


FIG. 2

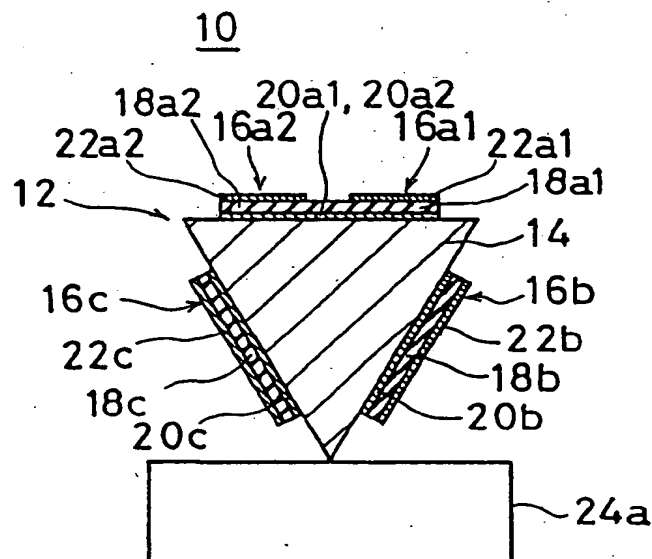


FIG. 3

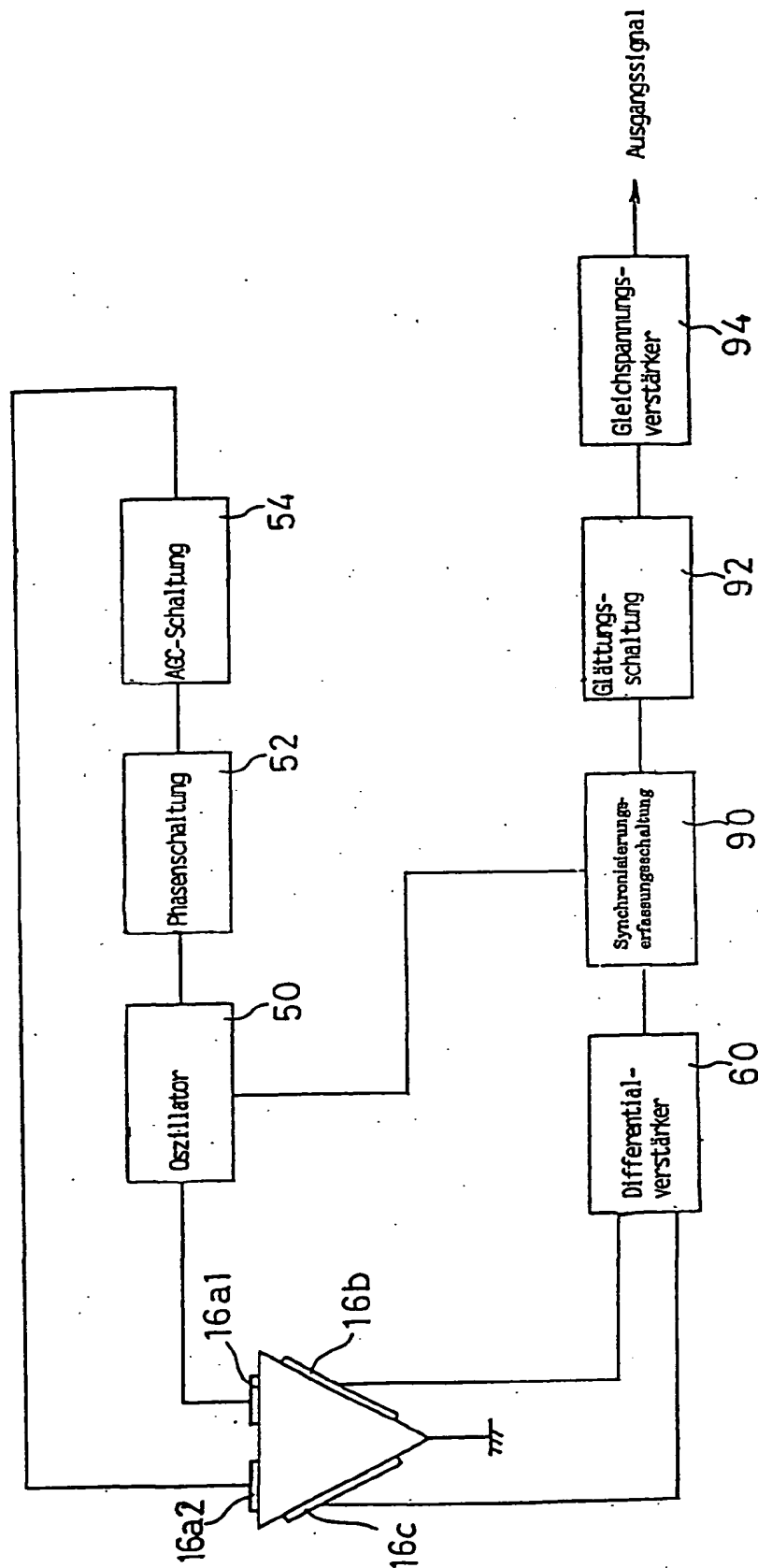


FIG. 4

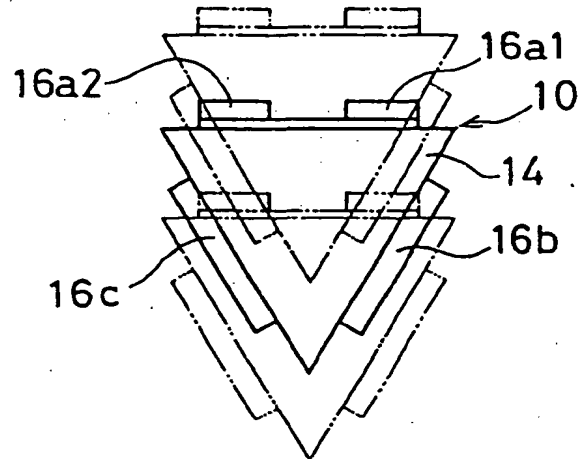


FIG. 5

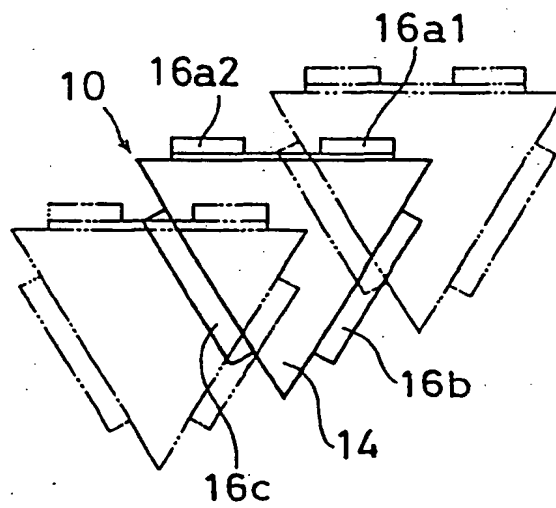




FIG. 6

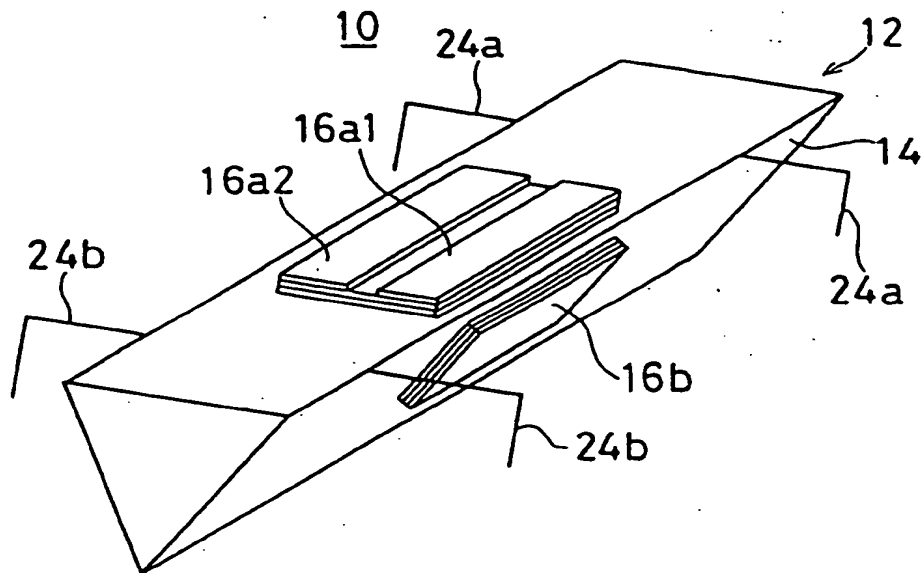


FIG. 7

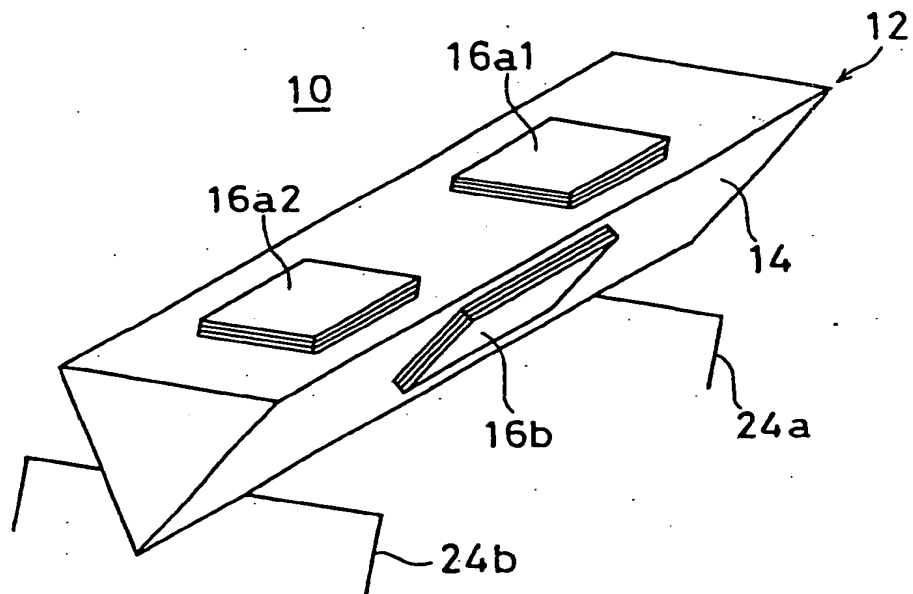


FIG. 8

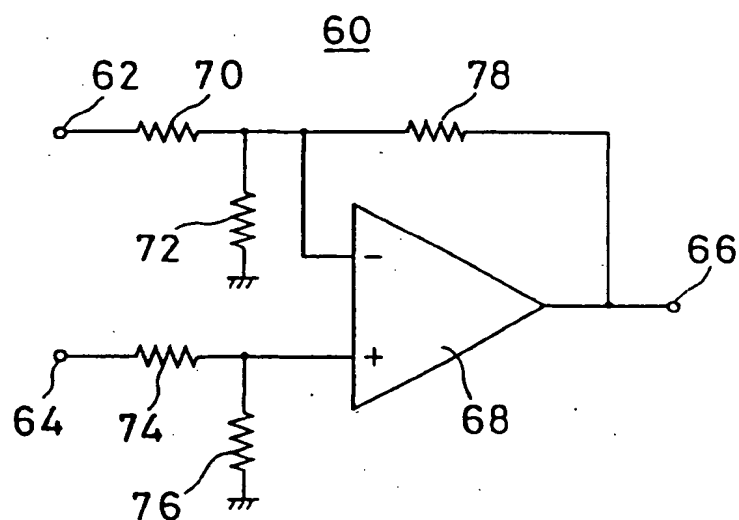


FIG. 9

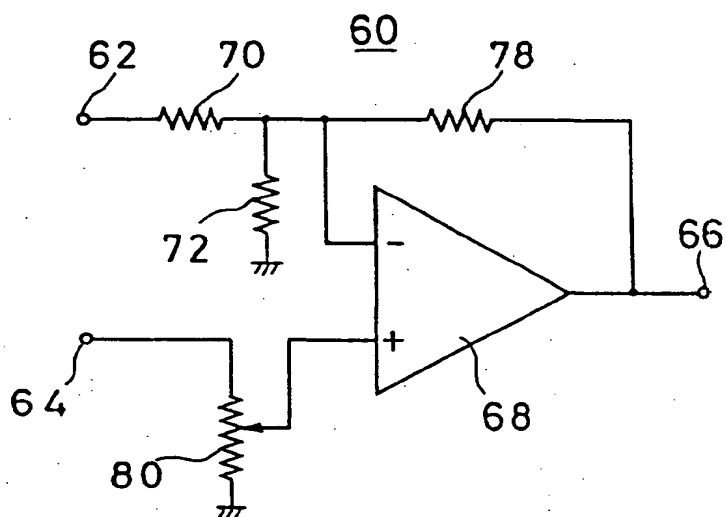


FIG. 10

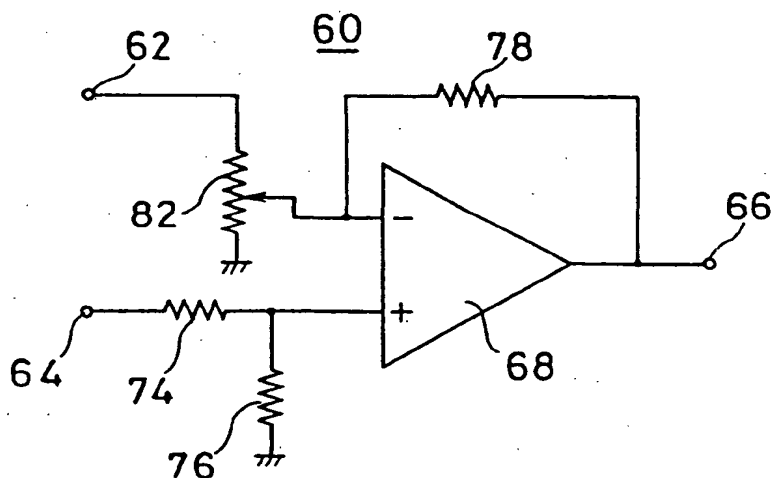


FIG. 11

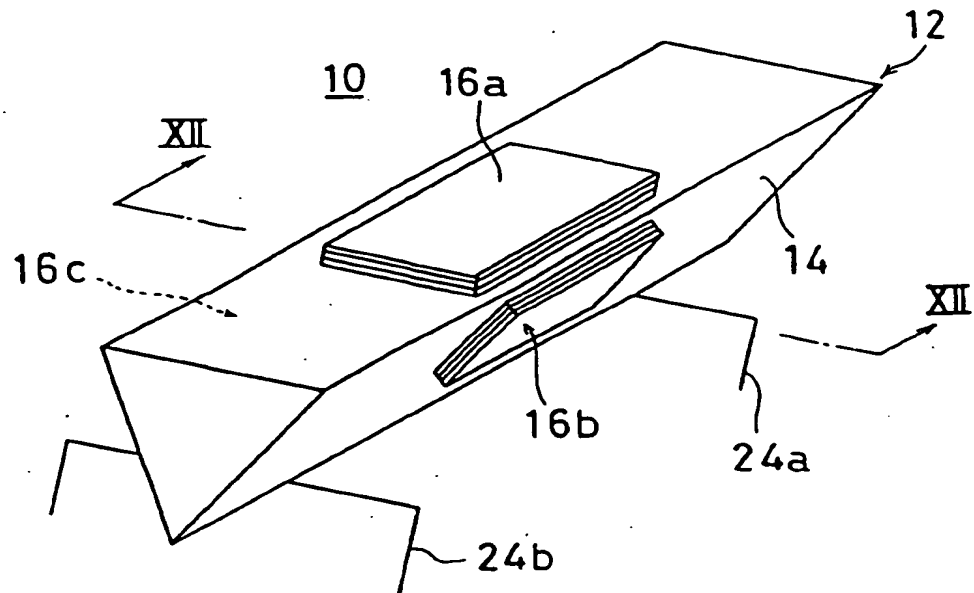


FIG. 12

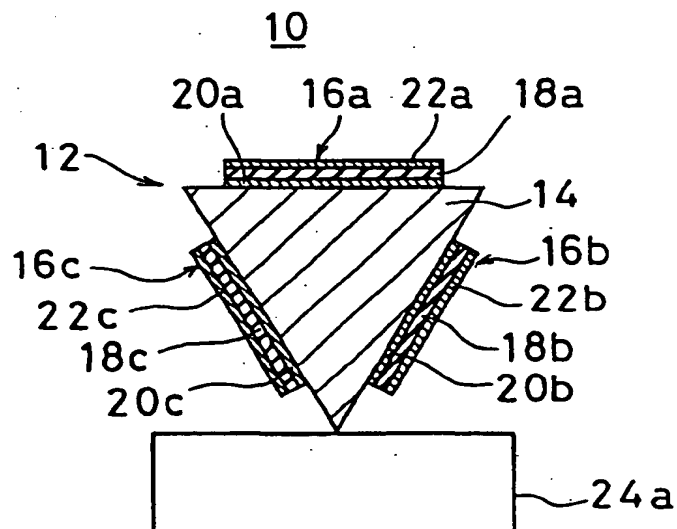


FIG. 13

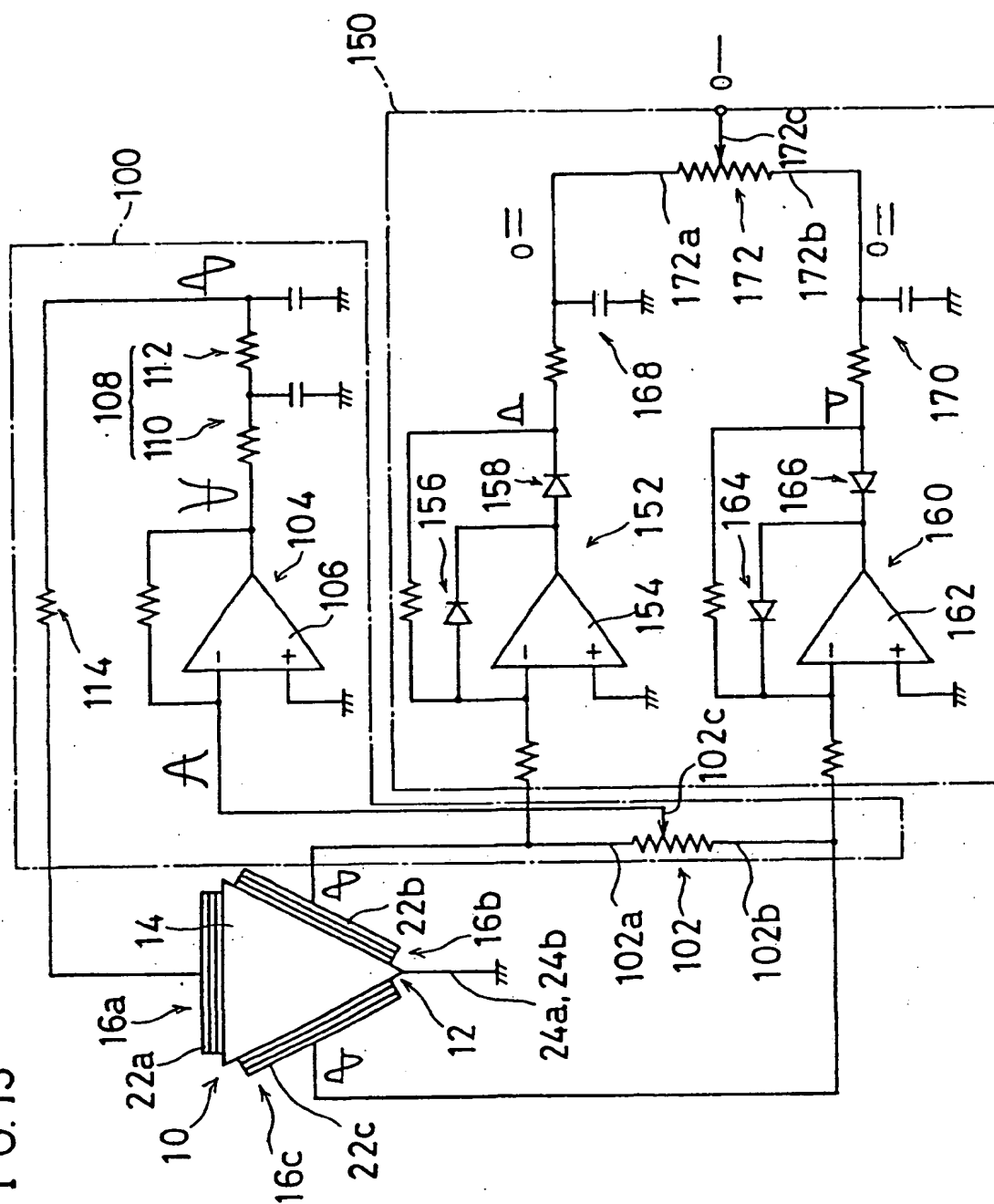
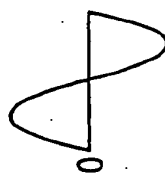
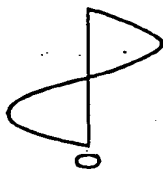


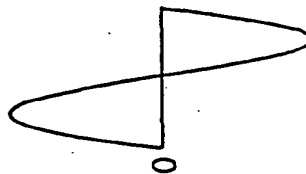
FIG. 14



Ausgabe des Piezoelektrischen Elements  
16b



Ausgabe des piezoelektrischen Elements  
16c

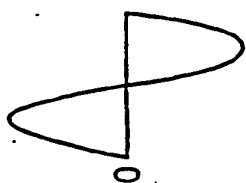


Ausgabe des variablen  
Widerstands  
102



Ausgabe des Differenz-  
verstärkers  
150

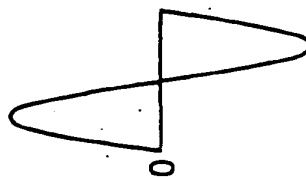
FIG. 15



Ausgabe des piezoelektrischen  
Elements  
16b



Ausgabe des piezoelektrischen  
Elements  
16c



Ausgabe des variablen  
Widerstands  
102



Ausgabe des Differenzverstärkers  
150

FIG.16

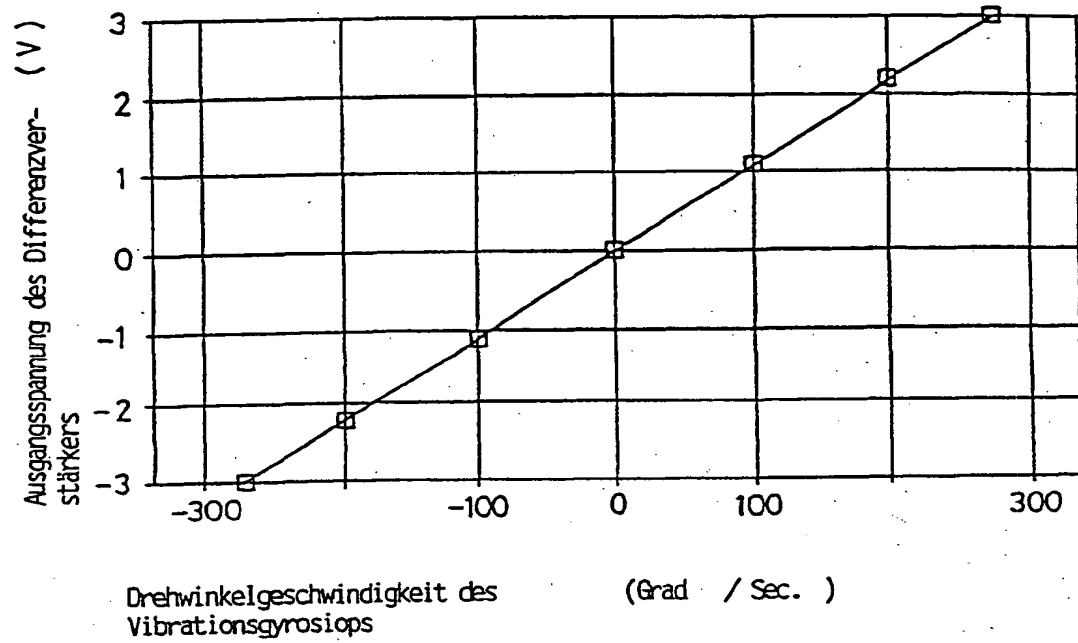




FIG. 17

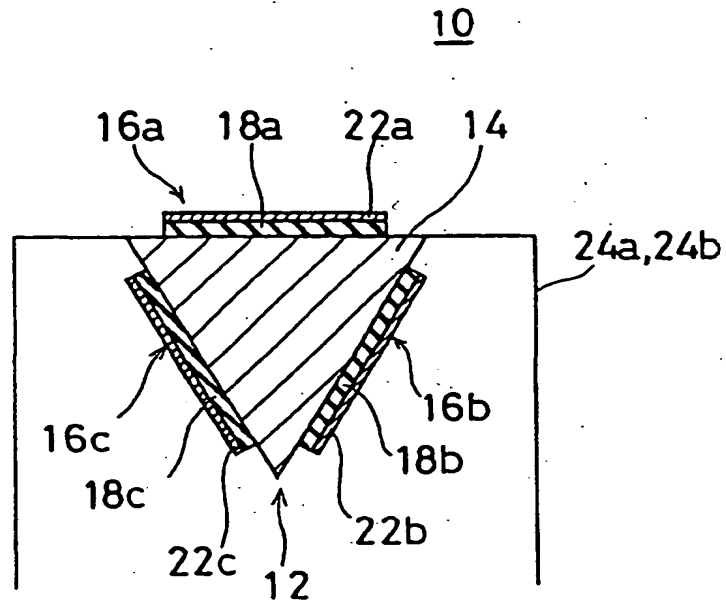


FIG. 18

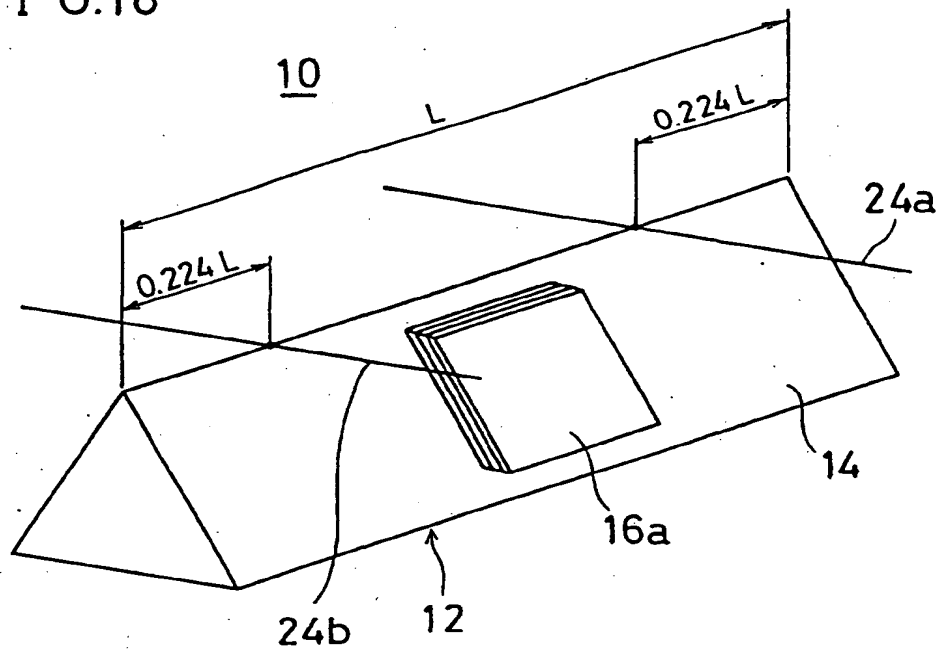


FIG. 19

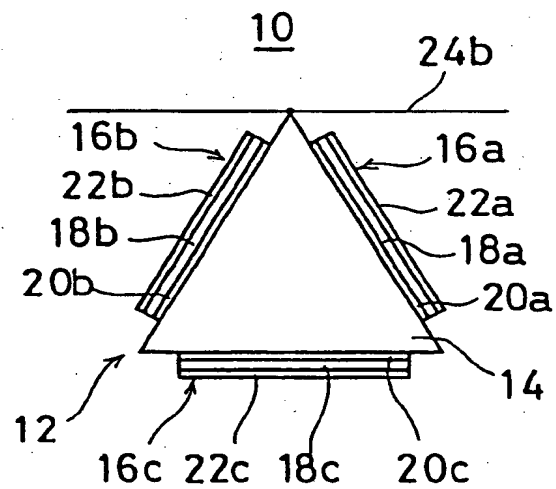


FIG. 20

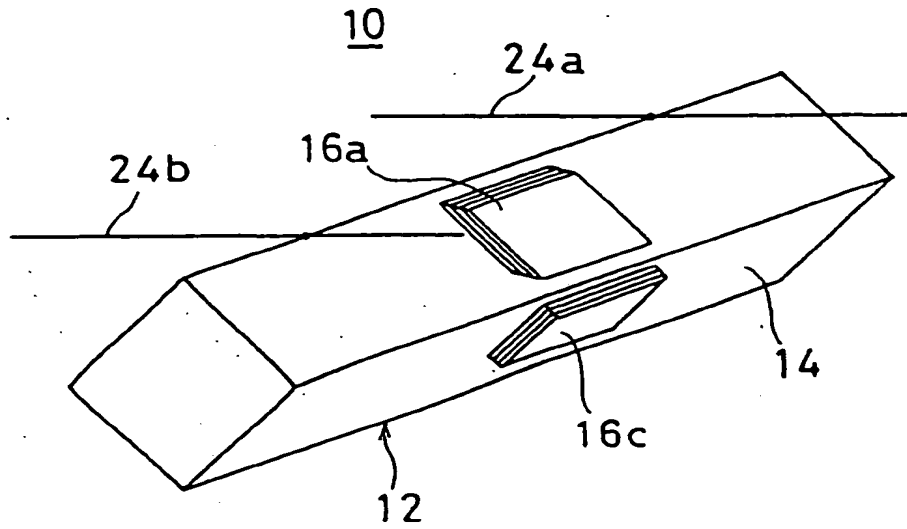


FIG. 21

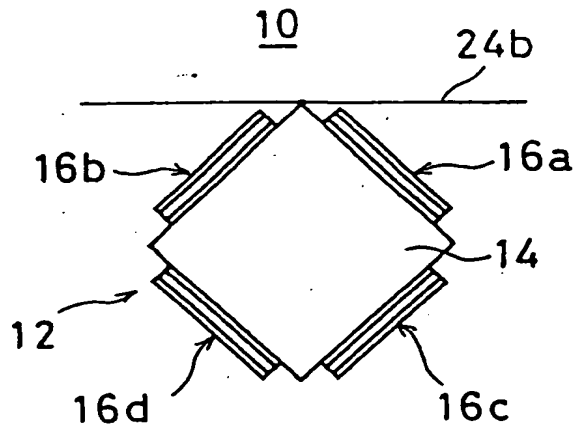


FIG. 22

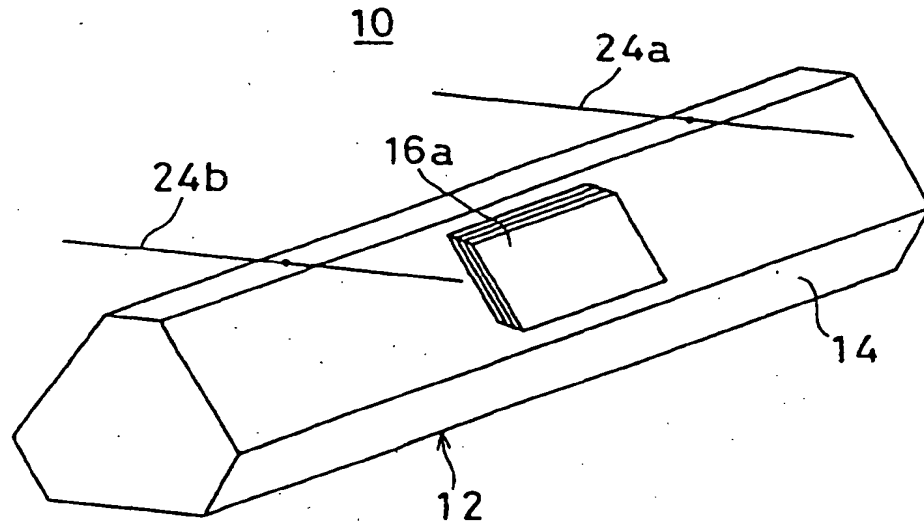


FIG. 23

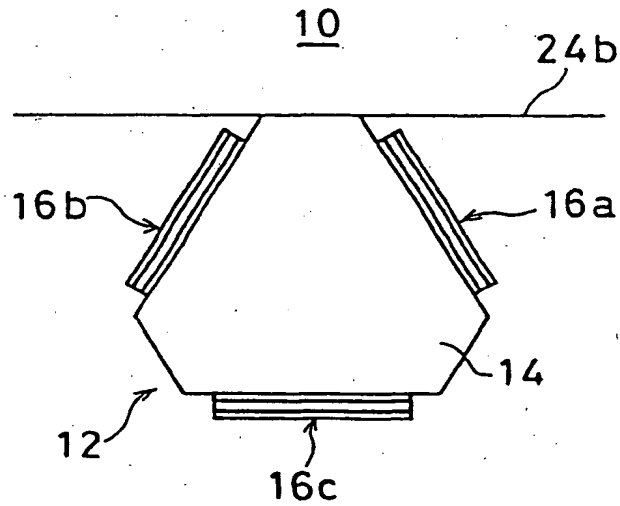


FIG. 24

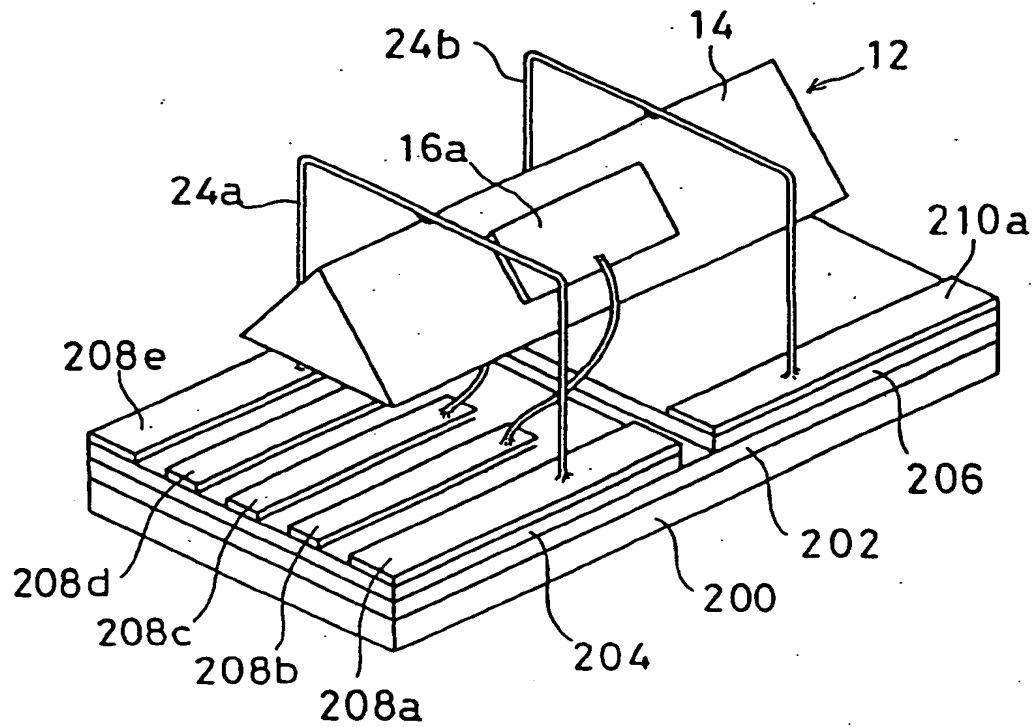


FIG. 25

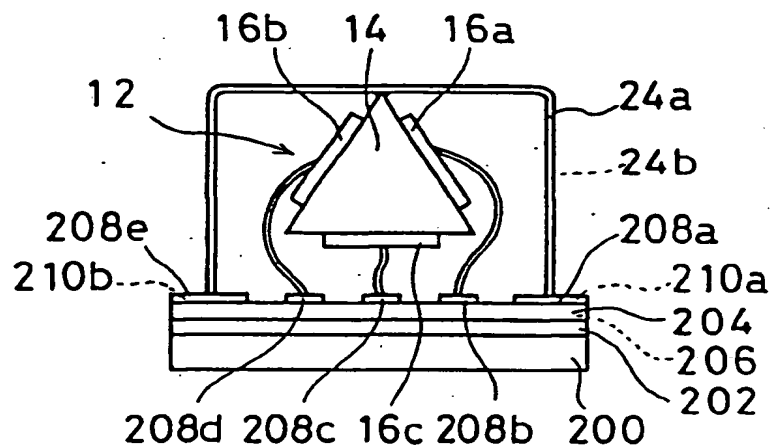


FIG. 26

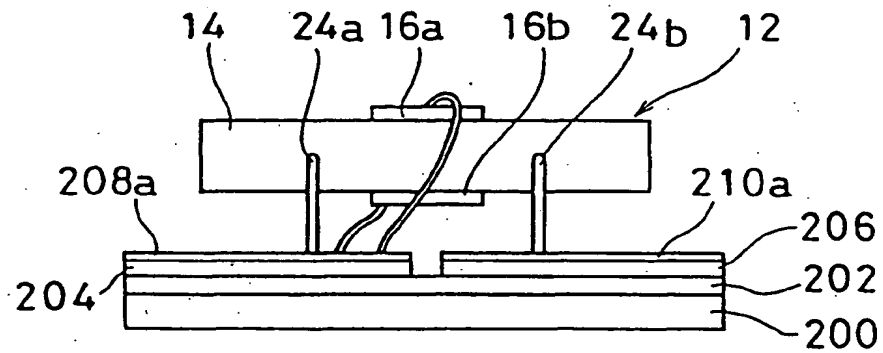


FIG. 27

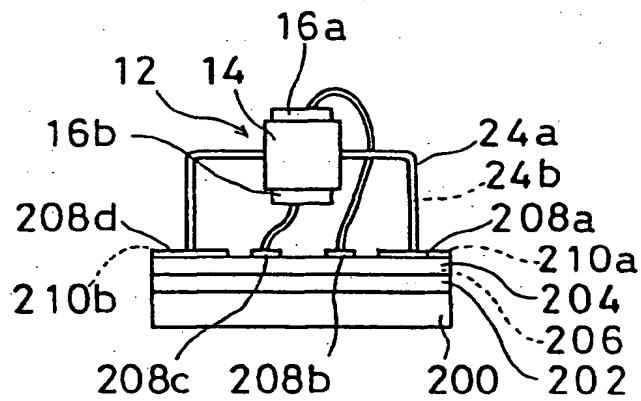


FIG. 28

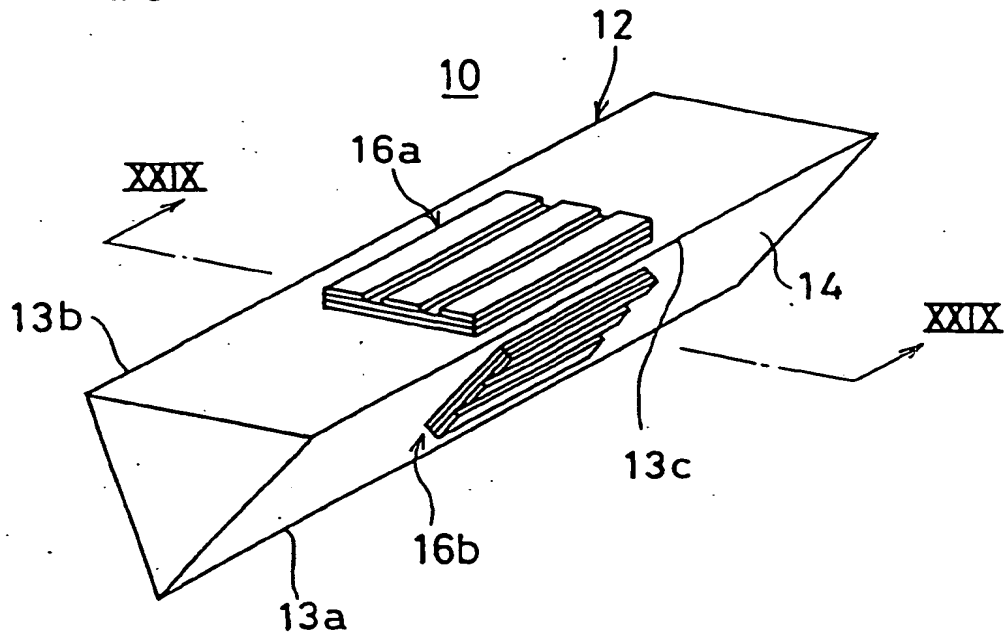


FIG. 29

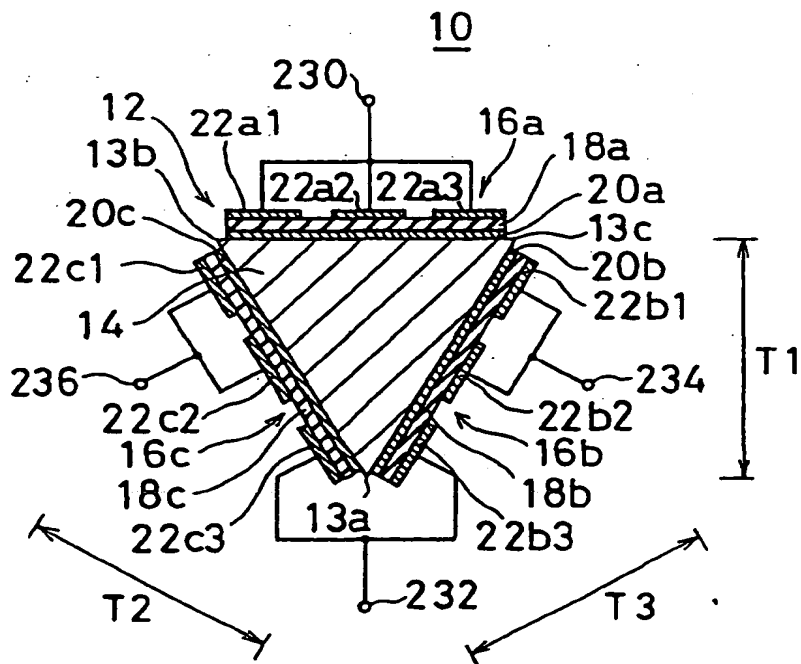






FIG. 31.

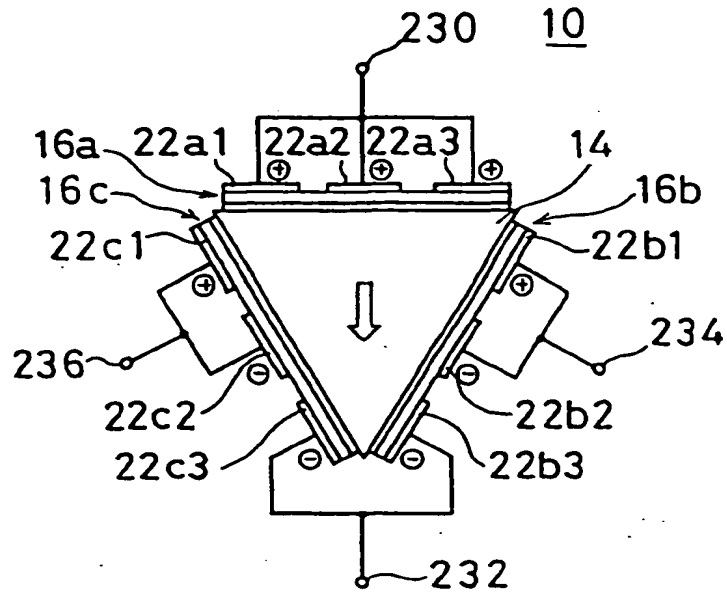


FIG. 32

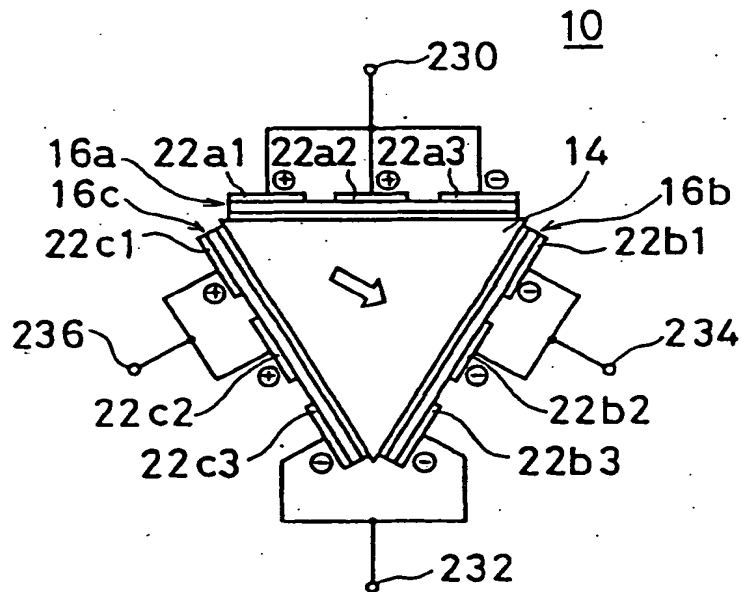


FIG. 33

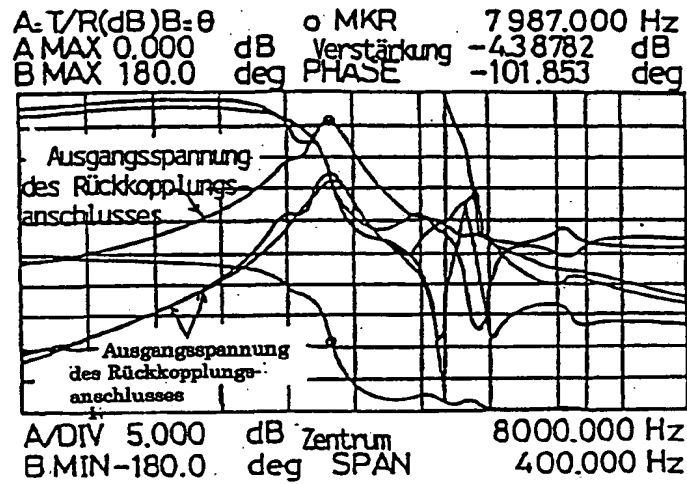


FIG. 34

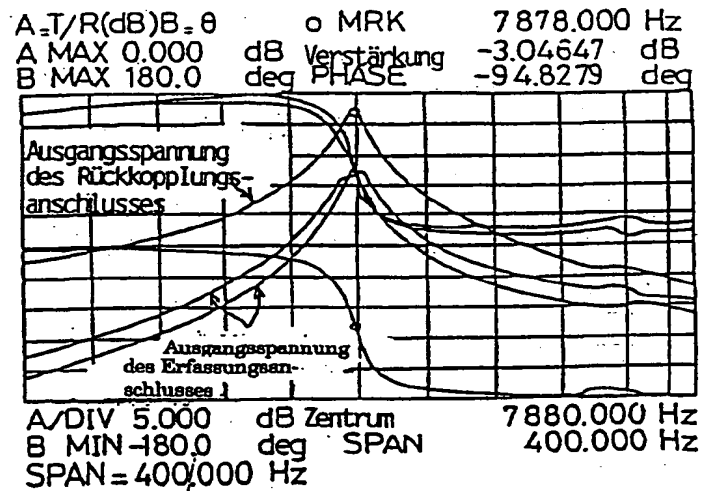


FIG. 36

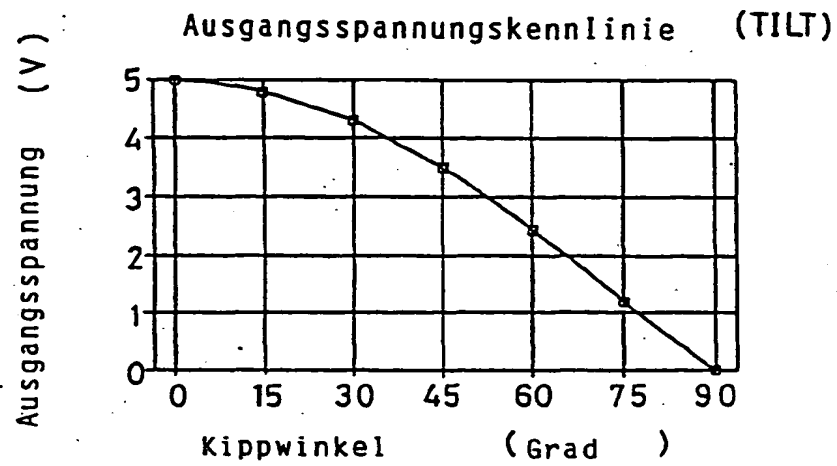


FIG. 37

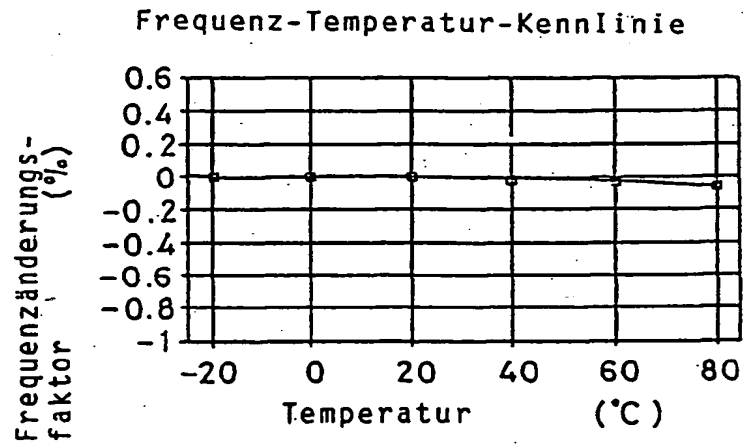


FIG. 38

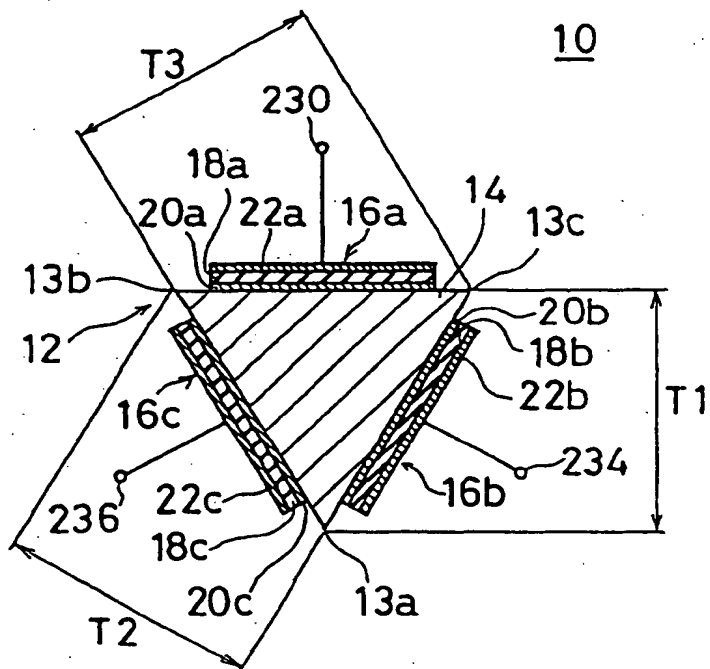


FIG. 39

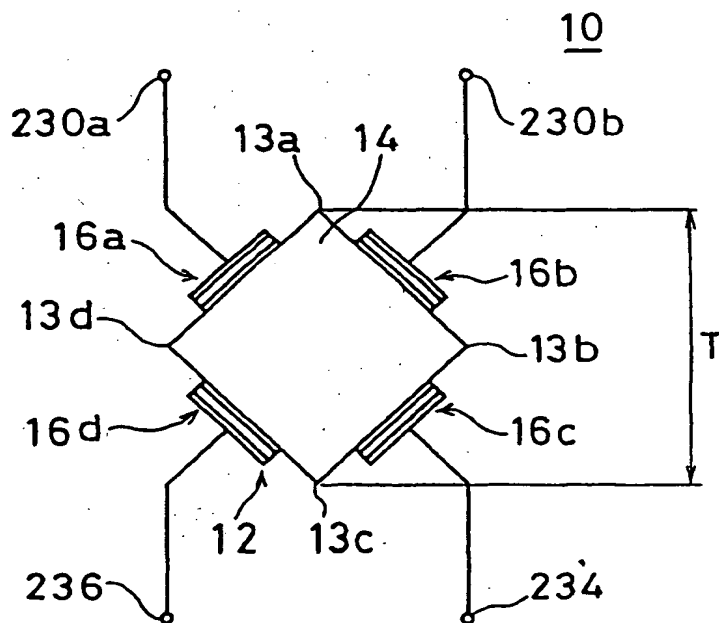


FIG. 40

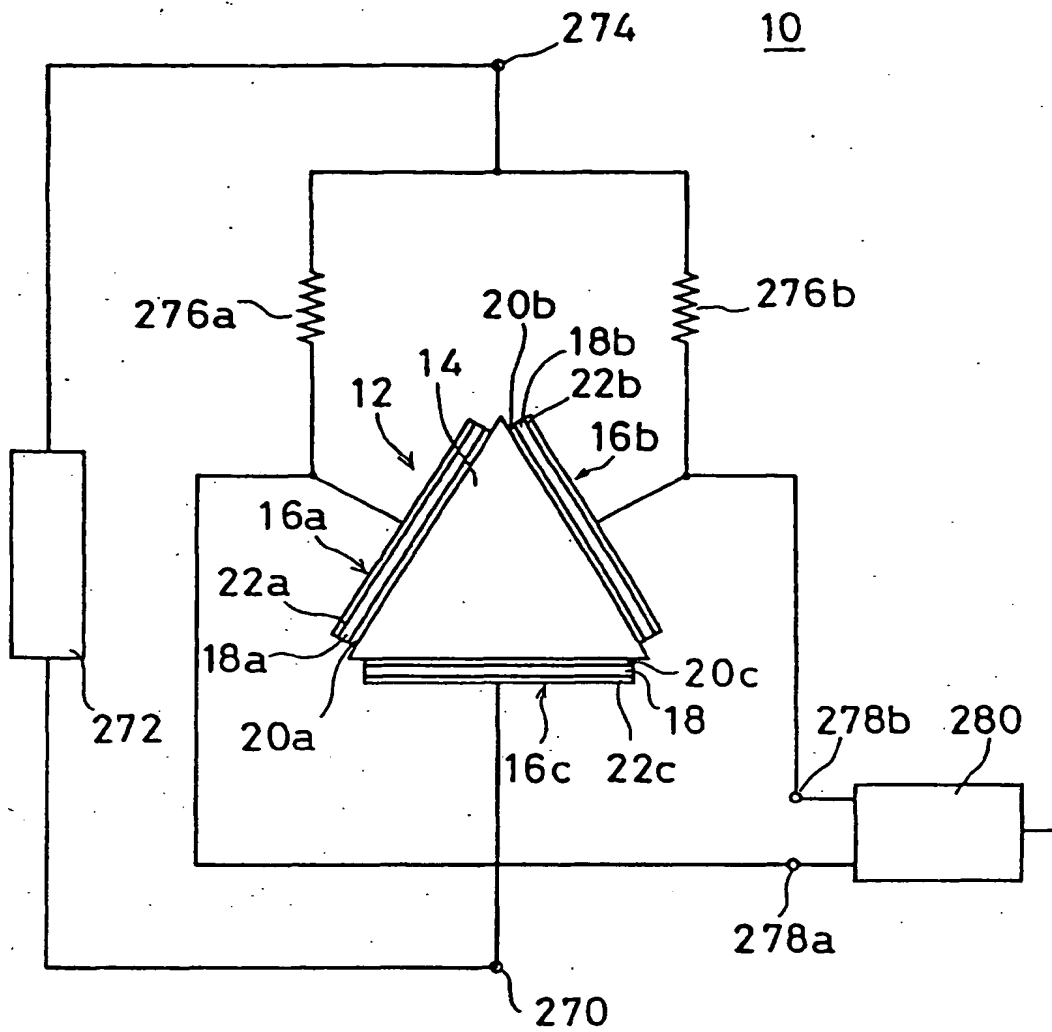


FIG. 41

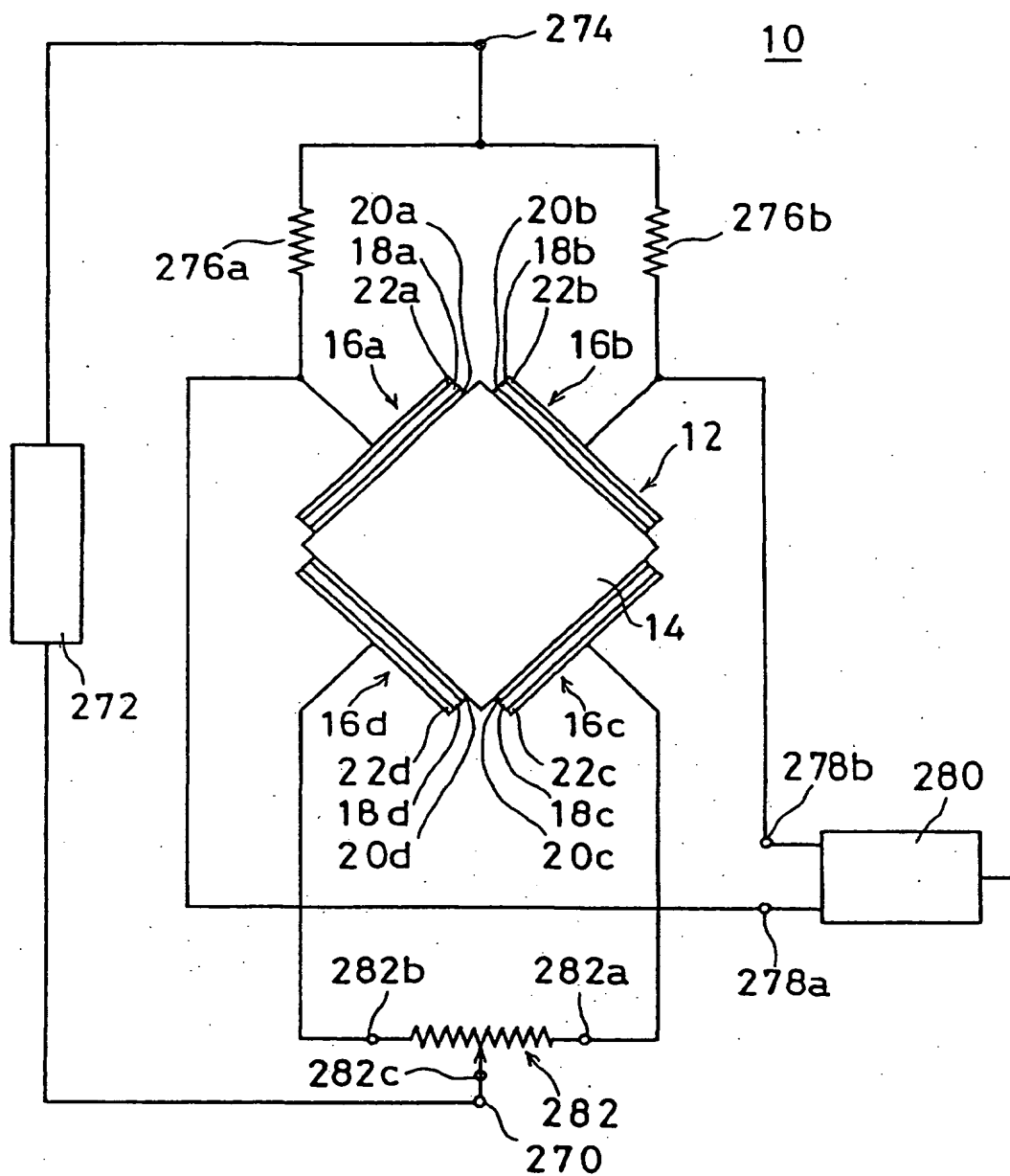


FIG. 42

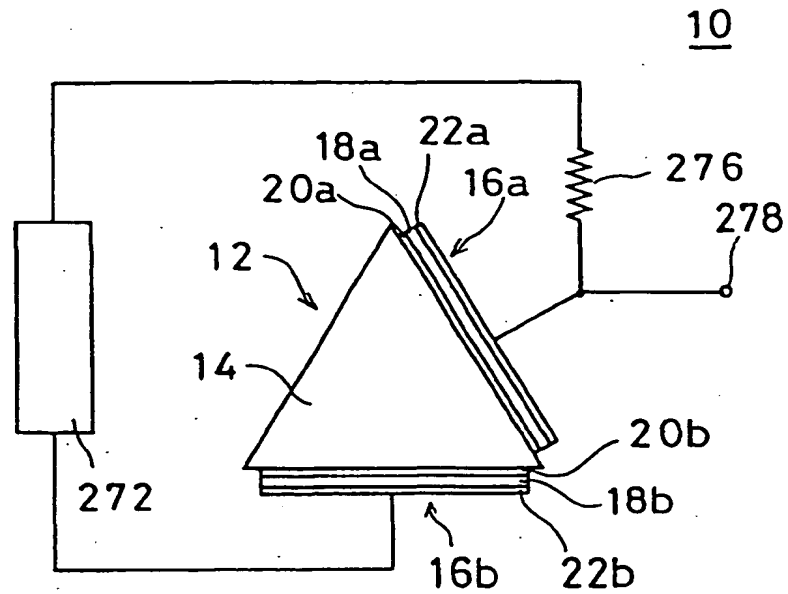


FIG. 43

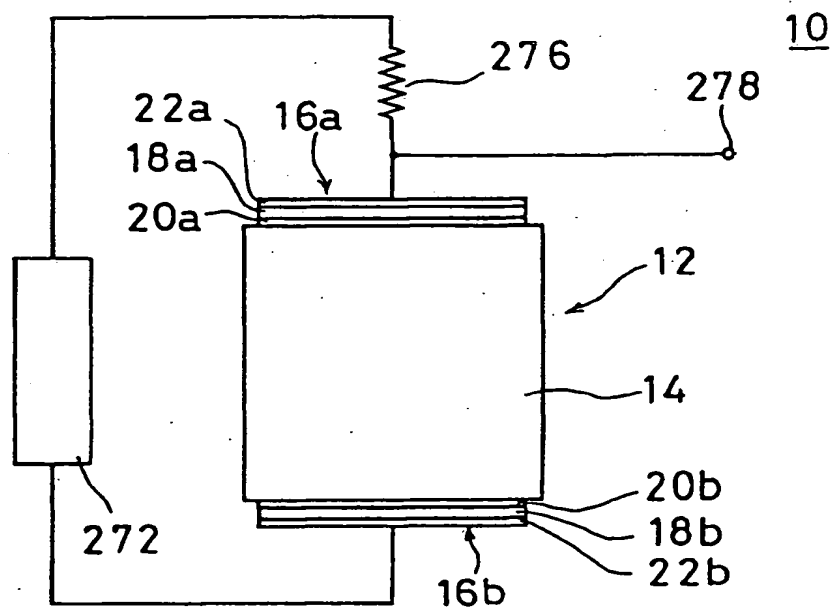
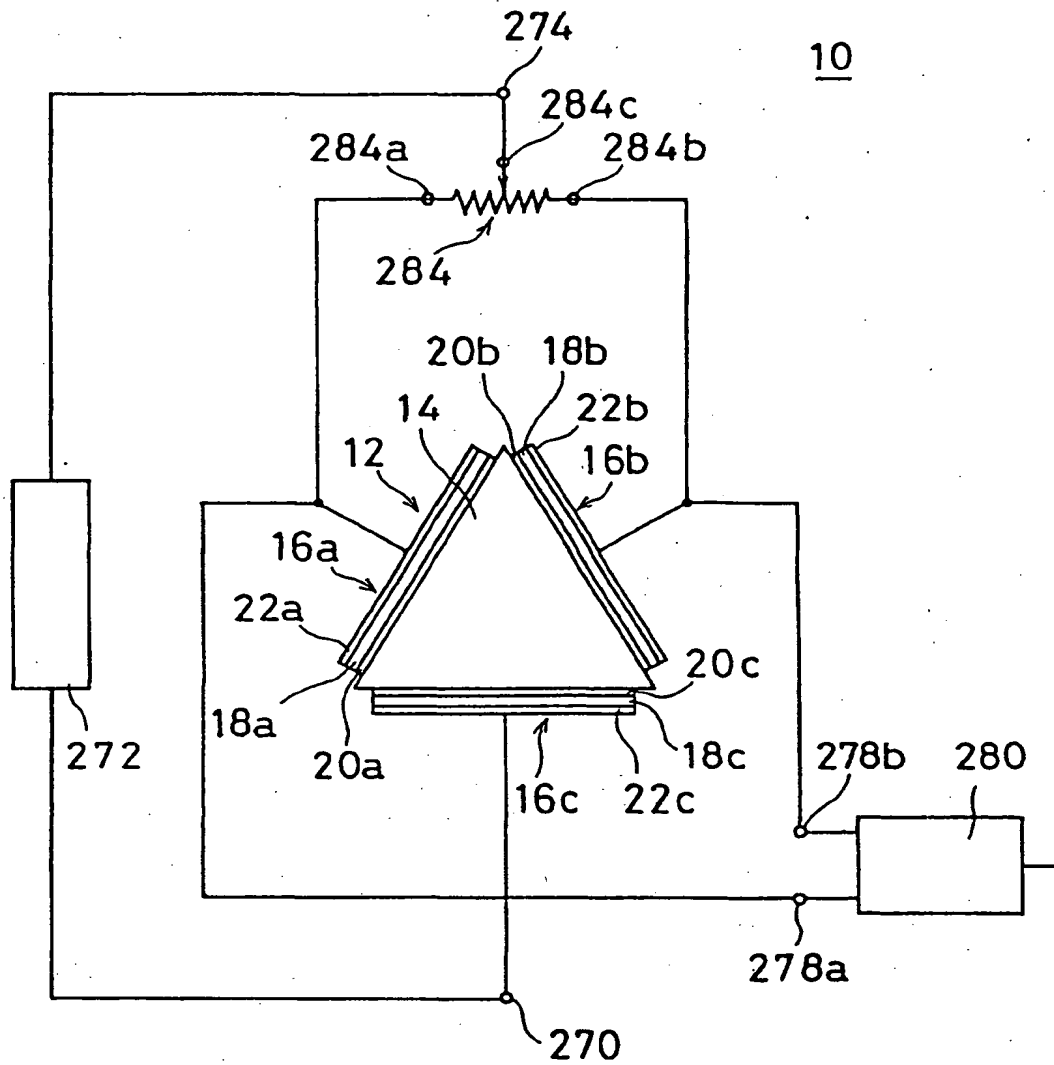


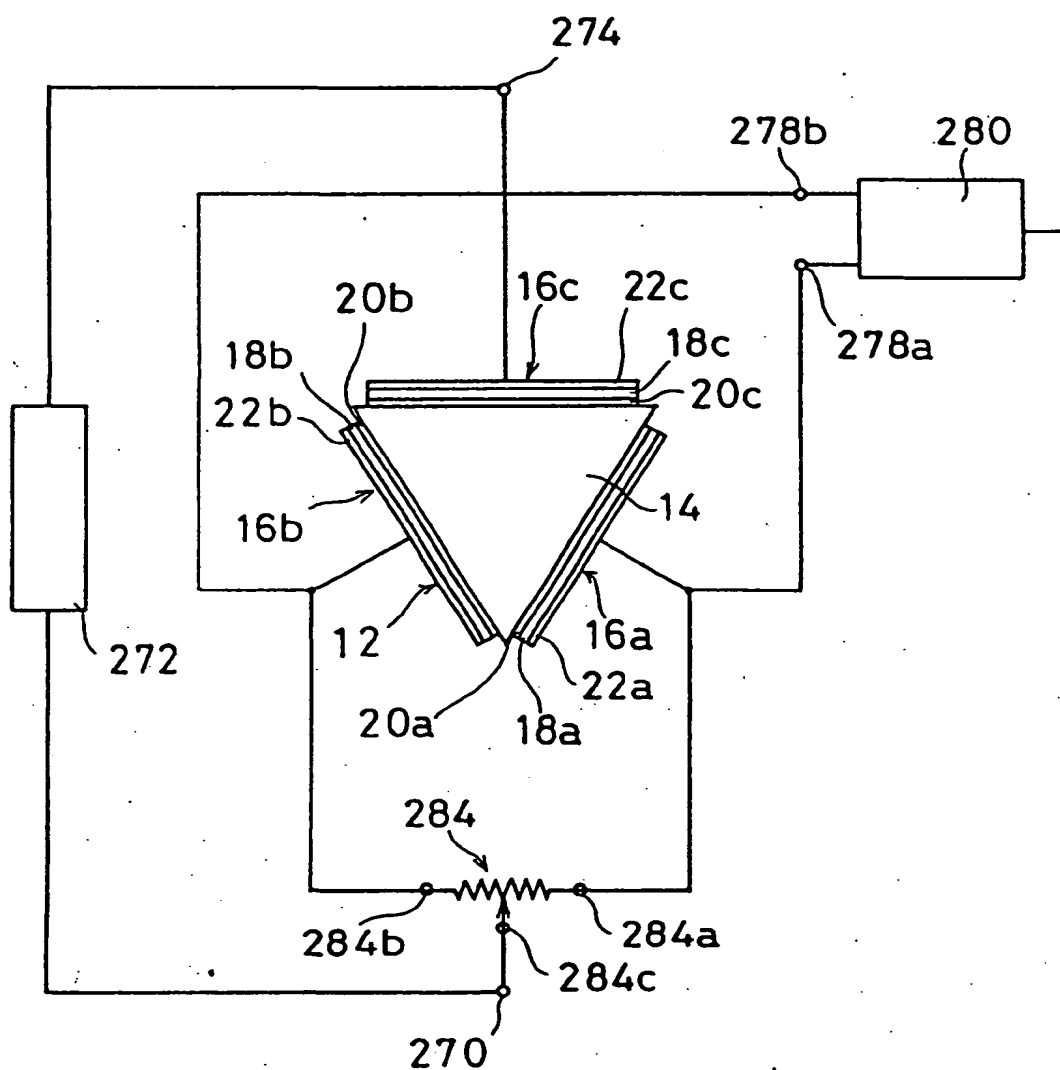
FIG. 44





F I G. 45

10



F I G. 46

10

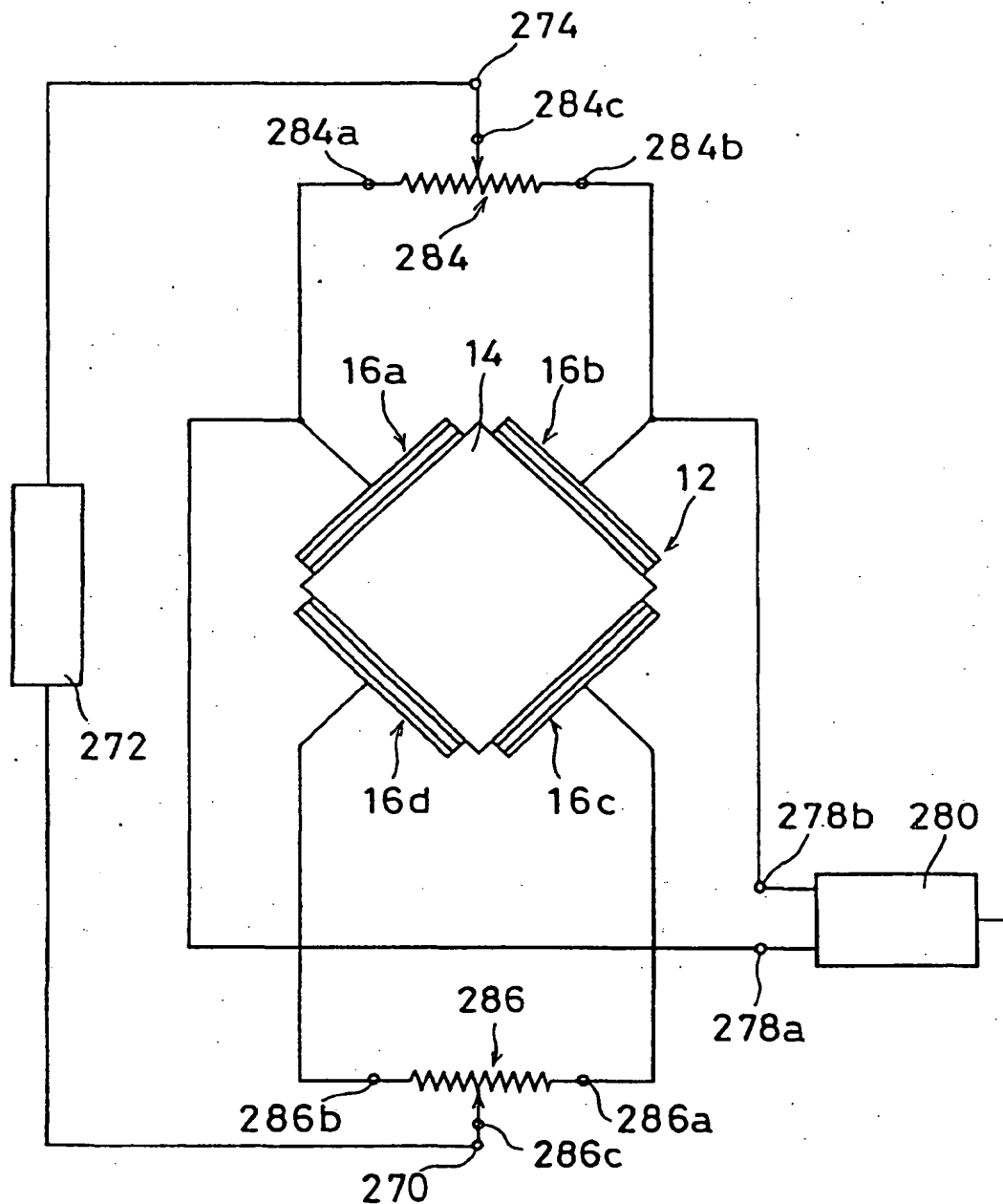
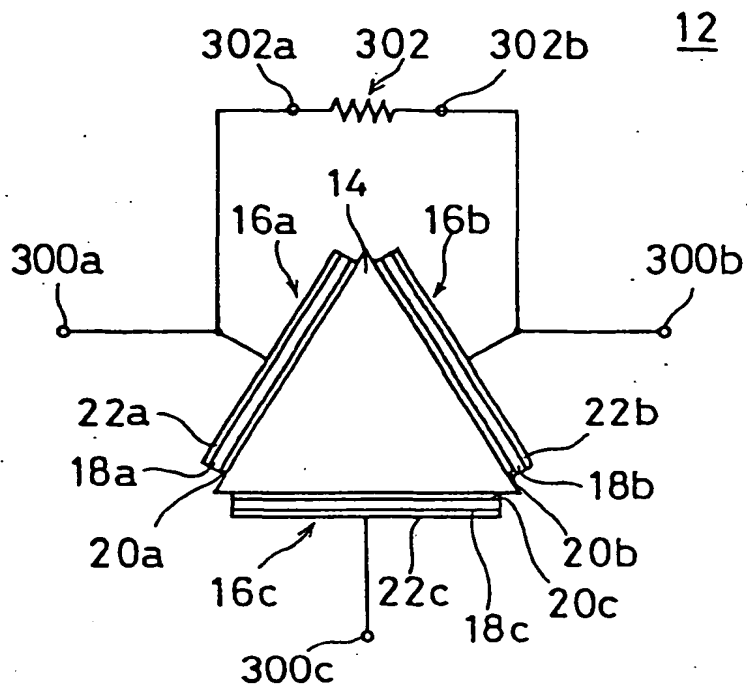


FIG. 47



F I G.48

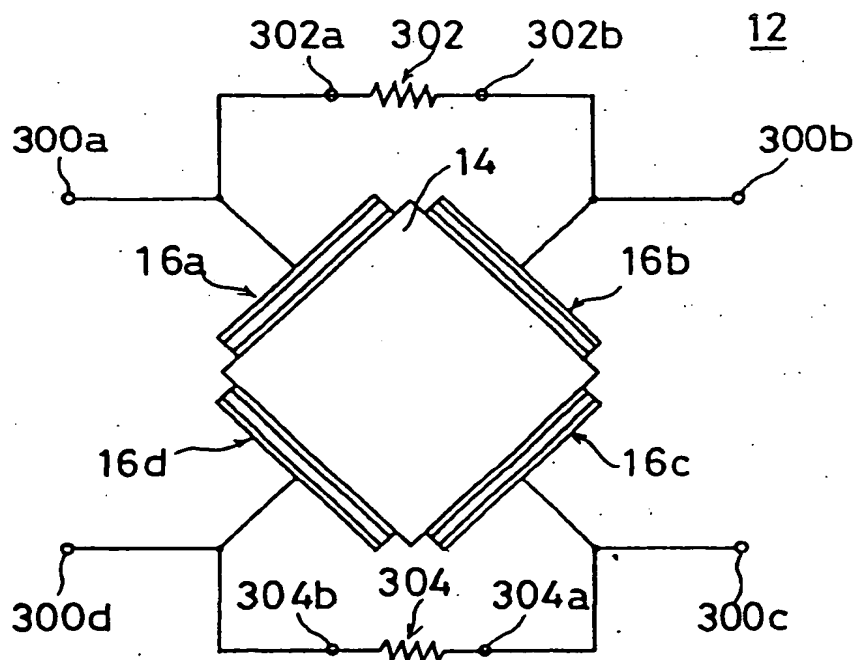


FIG. 49

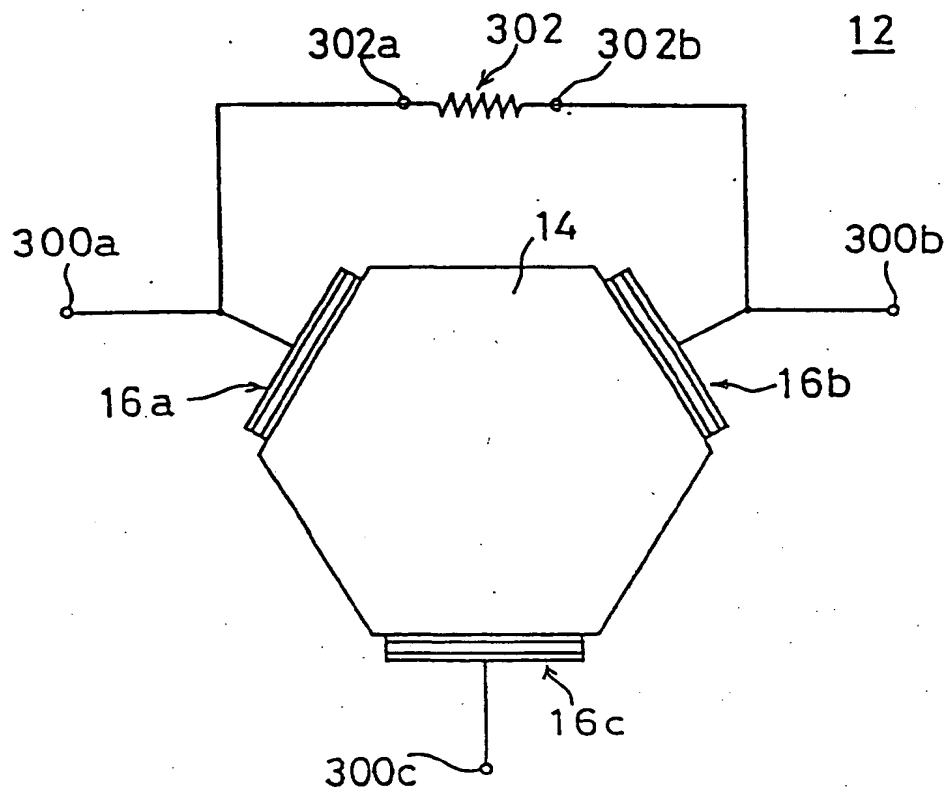


FIG. 50

Stand der Technik

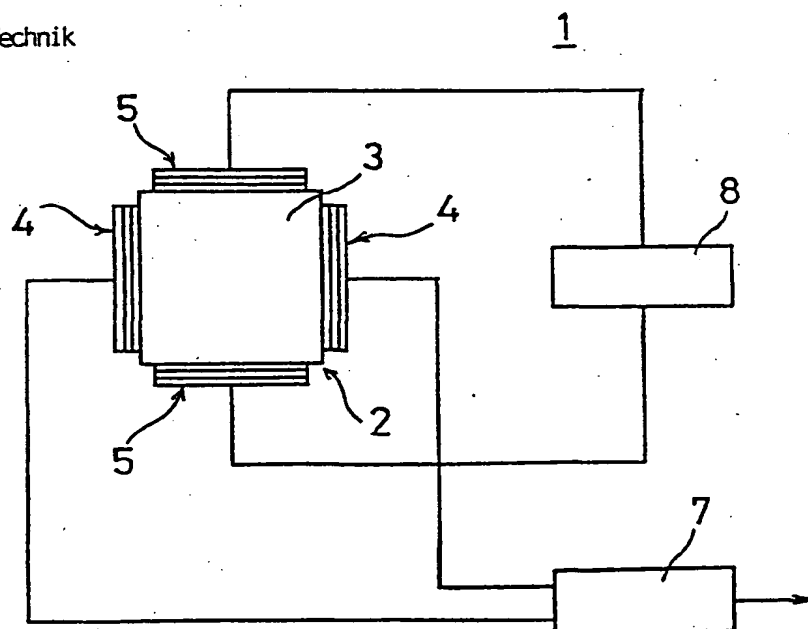


FIG. 51

Stand der Technik

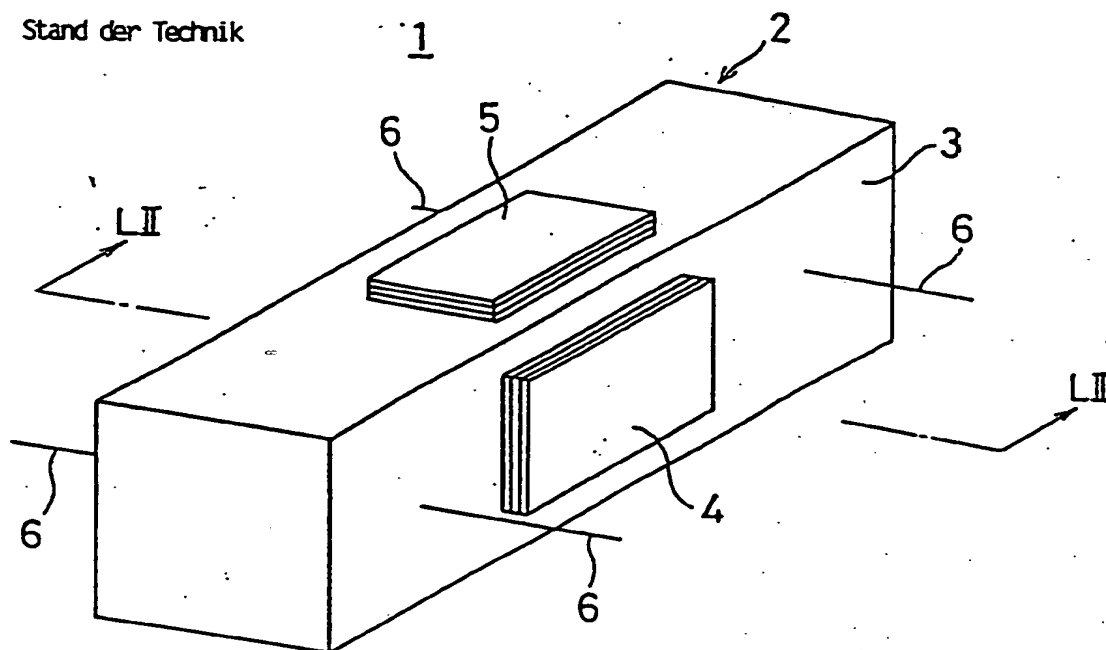


FIG. 52

Stand der Technik

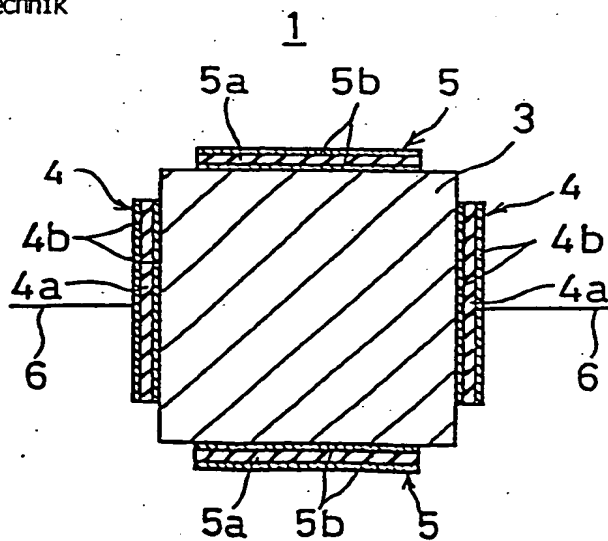


FIG. 53

Stand der Technik

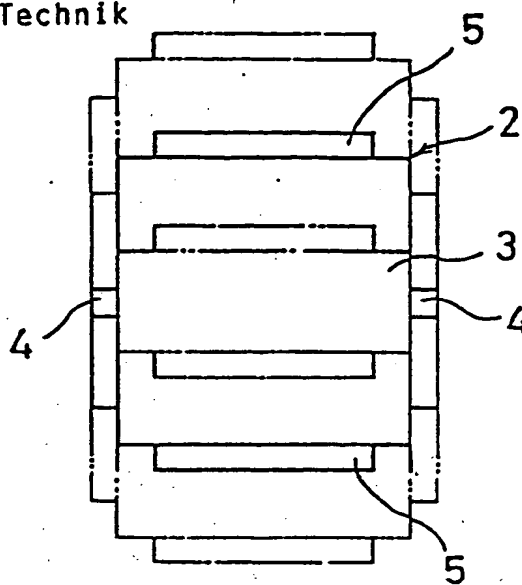


FIG. 54

Stand der Technik

